

# 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

2010 年 1 月 15 日

# 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)、环境保护署(EPA)、国家海洋与大气总署(NOAA)及国家大气研究中心(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做出了贡献,他们或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)、斯第夫·富罗京(Steve Frolking 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 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 Minkkinen 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)。

我们感谢美国环境保护协会(Environmental Defense Foundation)为DNDC模型使用手册(9.3版本)的更新与中文本的翻译提供了财政方面的支持;“新英格兰中国文化中心”的吕瑞兰女士精心翻译了此手册,我们在此谨表谢意。

# 目录

## 一. DNDC 简述

1. 导引
2. DNDC 模型概述

## 二. DNDC 的 PC 微软窗口版本

1. 模型综述
2. 硬件要求
3. 模型安装
4. 点位和区域的模拟

## 三. 模型操作

### 1. 点位模式

#### 1.1 输入参数

- 第 1 页: 气候
- 第 2 页: 土壤
- 第 3 页: 农田管理
- 第 4 页: 农作物
- 第 5 页: 耕耘
- 第 6 页: 化肥施用
- 第 7 页: 有机肥料施用
- 第 8 页: 旱田灌溉
- 第 9 页: 水田淹灌
- 第 10 页: 塑膜技术
- 第 11 页: 放牧和割草

#### 1.2. 保存输入参数

#### 1.3. 点位尺度模拟

#### 1.4. 快速查看模拟结果

#### 1.5. 批量模拟

### 2. 区域模式

- 2.1. 地理信息系统数据库
- 2.2. 气象数据库
- 2.3. 作物和土壤数据库
- 2.4. 区域模拟的初始化
- 2.4. 实施区域模拟

#### 四. 模拟结果数据

- 1. 点位模拟结果
- 2. 区域模拟结果

#### 五. 不确定性分析

#### 六. 实例分析

- 1. 美国爱荷华州的玉米生长
- 2. 美国夏威夷的甘蔗生长
- 3. 英国洛桑实验站冬小麦土壤有机碳 150 年动态
- 4. 法国阿罗农田氧化亚氮排放
- 5. 美国德克萨斯州水稻田甲烷排放:

#### 七. 相关文章目录

# 一. DNDC 简述

## 1. 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。

## 2. 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（ $\text{CO}_2$ ），甲烷（ $\text{CH}_4$ ），氨（ $\text{NH}_3$ ），氧化亚氮（ $\text{N}_2\text{O}$ ），一氧化氮（ $\text{NO}$ ）以及氮气（ $\text{N}_2$ ）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）。

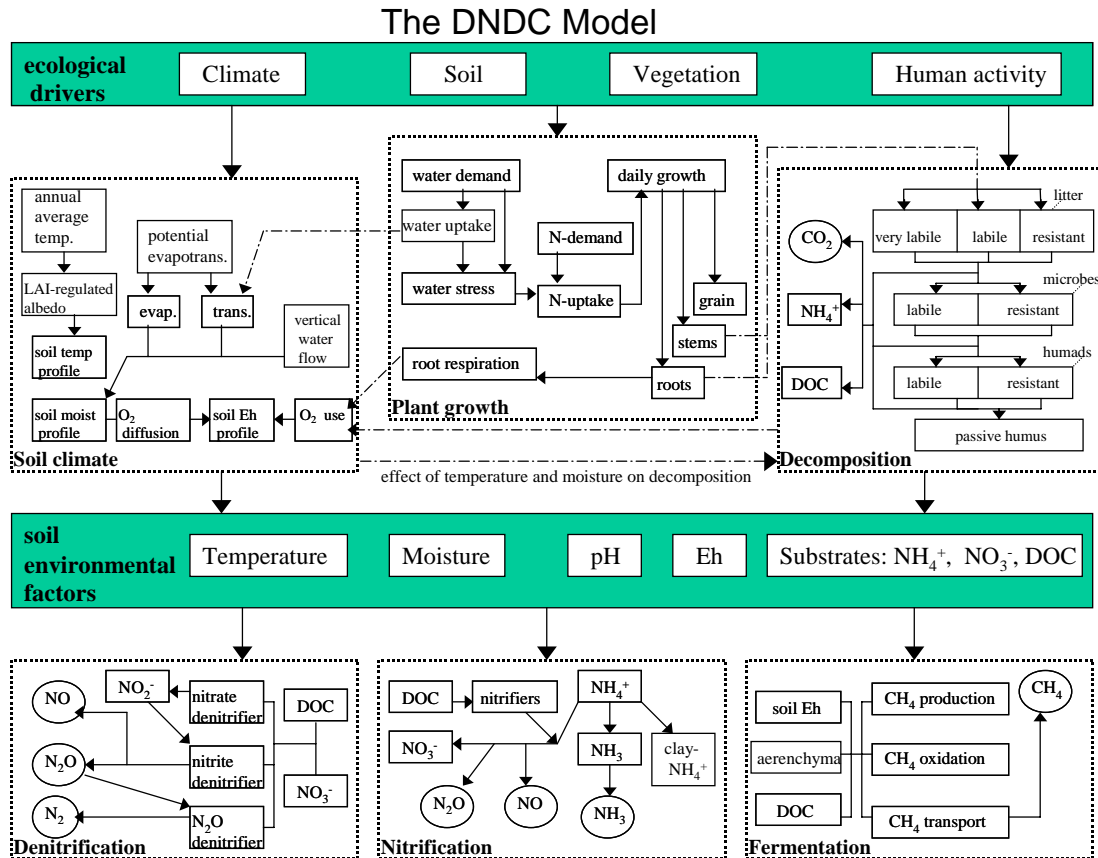


图 1. DNDC 模型的结构

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、土壤粘土含量及土壤可给态氮量所决定。当在一个库中的土壤 SOC 发生分解时，被分解的 SOC 的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<sub>4</sub><sup>+</sup>）。游离态铵与吸附在粘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

( $\text{NO}_3^-$ ) 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，根据模拟的土壤氧气或其它氧化物含量，DNDC 依靠能斯特公式（Nernst Equation）计算土壤的总体氧化还原电位（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。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  $\text{N}_2\text{O}$ ）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（ $\text{N}_2$ ）。如果土壤长期（几天到几个月）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（ $\text{H}_2\text{S}$ ）和甲烷（ $\text{CH}_4$ ）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，不一定适合於其他地区。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、 $\text{CO}_2$  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，有助于你去了解自己的作物；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



收量受制於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里；这些茬留在地面上，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。本手册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。

## 二. DNDC 的 PC 微软窗口版本

### 1. 模型综述

DNDC 模型可模拟在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输进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、植被和经营管理方面的信息。

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

### 2. 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。一个一百年的模拟所产生的结果文件需要硬盘空间约为 0.5MB。

### 3. 模型安装

你应随此手册得到一个 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.dndc.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。解文件包后，双击“Install”（安装）文件名，计算机将自动把 DNDC 及相关文件安装在你的计算机的 C 盘中。

在 C 盘的 DNDC 文件夹中包含最新版本的 DNDC (即 DNDC93) 以及支持模型运转所需的数据。在 C:\DNDC\Library\目录内，有随 DNDC 而来的农作物和土壤默认值资料数据。在 C:\DNDC\Database\目录内，有一名为 Shangrila(香格里拉)的子文件夹，内含一套完整的区域数据文

件。这些香格里拉数据文件是作为一个例子提供的；审阅此组文件，你将了解区域模拟所必需的输入数据的文件种类、内容及格式。只要依照香格里拉文件的格式填写自己的数据，使用者能容易地创建自己的区域数据库。

在完成上述安装后，你就可以运转 DNDC 了。让我们到 C:\DNDC\ 目录下点击 DNDC93.exe, 一起来启动这个模型。

#### 4. 点位和区域的模拟

当模型启动后，主菜单显示在屏幕上（图 2）。



图 2. DNDC 模型的主菜单

点位模拟模式

点击主菜单的【点位】/【输入】（或 Site 边的 Input）键，开始对一个点位的模拟提供输入参数。输入程序包括对三部分参数的提供，其内容为（1）气象信息、（2）土壤信息和（3）农田管理信息。农田管理信息页内又包含 8 个子页，让使用者去确定农作物的种类与轮作、耕耘、化肥施用、有机肥施用、旱地灌溉、水田淹灌、塑膜技术、放牧与割草。在输入过程中，你可回到前面任何一页进行修改。但你要记住，当你完成一页的输入或修改后，一定要点击该页上的【接受】键；否则，计算机不会记住你输入或修改过的数据。当你把所有页中要求的参数全部输入后，请点击在主菜单下边的【OK】键，告诉计算机输入程序已完成。通过点击【OK】键，所有输入的数据将自动转换成 DNDC 的内部输入文件，这些文件储存在 C:\DNDC\Result\Input 目录下；此时 DNDC 已全部就绪，准备对该点位执行模拟。此时你若点击【模拟】键，DNDC 即开始执行这一模拟。

你可能会好奇：点击【模拟】后，DNDC 将做些什么事呢？这里向你简单介绍一下。在点击【模拟】后，DNDC 首先从储存在 C:\DNDC\Result\Input\目录下的输入文件中读取所有输入参数，从而得到该模拟点位的气象、土壤和农田管理的所有信息。然后 DNDC 开始对第一年进行逐日模拟。在一日模拟中，DNDC 首先模拟土壤温度、湿度和氧化还原电位；然后模拟植物生长；而后模拟土壤有机质分解；最后模拟土壤微生物驱动的反硝化、反硝化和发酵过程。根据每天的气象数据、土壤物理性状及作物生长，土壤各层的温度、湿度、水分迁移及氧化还原电位首先被算出。然后，DNDC 根据生长积温计算植物日潜在生长量、水分的需求量、氮的需求量；根据土壤的实有水量及氮量，DNDC 计算水胁迫和氮胁迫，从而计算作物对水和氮的实际吸收，由此算出作物实际生长量。根据作物参数，DNDC 将每日作物生长量分配到根、茎、叶及籽粒中。土壤有机质分解过程的模拟是基于各层土壤中的有机质含量、土壤气候及土壤中可给态氮的含量。DNDC 根据土壤氧化还原电位及基质（如 DOC,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , NO,  $\text{N}_2\text{O}$ ）浓度计算硝化和反硝化过程，并确定含氮气体的排放。在农田淹灌的情况下，DNDC 追踪土壤硝酸盐、亚硝酸盐、高价锰（ $\text{Mn}^{+4}$ ）、高价铁（ $\text{Fe}^{3+}$ ）以及硫酸盐的浓度变化来追踪土壤的氧化还原电位演化。在氧化还原电位低于一个特定阈值时，发酵作用的子模型将被启动去计算甲烷（ $\text{CH}_4$ ）的产量。在输入程序的过程中，如果你要求记录每日模拟结果，DNDC 将会记录每日的植物生长情况、土壤温湿变

化、水分迁移、土壤中碳汇和碳通量、土壤中氮汇和氮通量、硝酸盐的淋溶流失以及各种气体的排放通量。按照以上所述顺序，DNDC 对该农业生态系统实施逐日模拟，直到这年的最后一天。在一年模拟结束时，DNDC 会产生一个年度报告，总结该全年度碳、氮和水在该农业生态系统中的收支平衡。若实施多年模拟，DNDC 会在一年模拟结束后，自动开始下一年的模拟。模拟将会一年又一年连续不断地进行下去，直到全部模拟完成。所有模拟产生的每天和每年的结果都贮存在”C:\DNDC\Result\Record\Site\”目录下的文件中。

## 区域模拟模式

使用 DNDC 实施区域模拟，你必须事先获取整个区域所有格点所需的输入数据，并将它们存储在特定的数据库中。此数据库包括两种类型的数据文件：地理信息系统（GIS）数据和通用资料数据。地理信息系统数据涵盖待模拟区域的所有多边形或格点，其内容包括各格点的地理位置、气象数据文件名、土壤性质、种植系统及农田管理方面的信息。通用资料数据文件则储存通用数据，如植物生理/物候学参数、土壤水热性能参数及气象数据。我们鼓励使用者去浏览一下与存放在“香格里拉”文件夹中的所有数据，这样你就会熟悉整个数据库的结构、内容及格式，有助于将来建立自己的区域数据库。

如果你的区域数据库已建立起来，你就可以进行区域模拟了。有关区域数据库建立与模拟结果的详情细节将在后面有关章节中论及。

## 三. 模型操作

在 C:\DNDC\目录下，点击 DNDC93.exe, 模型启动。一开始，你会看到一个主菜单（图 2）。在此主菜单上，你可选择进行点位或区域模拟。

### 1. 点位模式

在点位模式下操作，大部分数据通过手工方式由输入界面各页输入。让我们现在开始吧！

#### 1.1. 输入参数

点击主菜单的【点位】/【输入】键，你会看到新的一页，它是“气候”页（图 3）。

##### 第 1 页：气候

这是点位模拟输入程序的第一页。在此页中, 你需要输入待模拟点位的地理位置和有关气候参数。



( $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ ) (0.06)	响对植物叶片对氮气的吸收，即氮的干沉降。
大气 $\text{CO}_2$ 平均浓度 (ppm) (350)	大气二氧化碳平均浓度。 该值影响植物光合作用（默认值为 350ppm）。
大气 $\text{CO}_2$ 浓度年增长速率 (ppm/年)	对于多年的模拟，通过设立此项可自动调整大气中逐年二氧化碳的浓度变化。

需用的气象数据文件必须事先准备好。文件都应是单纯的文本文件（即 ASCII）。每一年应有一个单独的文件。DNDC 接收五种不同的格式的气象数据。

### 格式 1

```
IA1987
1      -2.5      0.0
2      -1.0      1.2
3      -0.5      0.5
4       1.7      0.0
.
.
365     5.6      0.0
```

第一列是文件名，第一纵行是儒略日 (Julian day)，第二纵行是空气日平均温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )，第三纵行是日降雨量 (厘米)。

### 格式 2

```
IA1987
1      -0.5     -4.5     0.0
2       0.0     -1.2     1.2
3       3.5      0.8     0.5
4       5.7      2.0     0.0
.
.
365     5.6     -0.2     0.0
```

第一列是文件名，第一纵行是儒略日 (Julian day)，第二纵行是空气日最高温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )，第二纵行是空气日最低温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )，第四纵行是日降雨量 (厘米)。

### 格式 3



```

IA1987
1      -0.5      -4.5      0.0      1.23
2       0.0      -1.2      1.2      1.59
3       3.5       0.8      0.5      3.20
4       5.7       2.0      0.0      2.25
.
.
365     5.6      -0.2      0.0      1.11

```

第一列是文件名，第一纵行是儒略日(Julian day)，第二纵行是空气日最高温度（℃），第二纵行是空气日最低温度（℃），第四纵行是日降雨量（厘米），第五纵行是太阳辐射（百万焦耳/平方米/日）。

#### 格式 4

```

IA1987
1      -0.5      -4.5      0.0      0.25
2       0.0      -1.2      1.2      1.10
3       3.5       0.8      0.5      0.80
4       5.7       2.0      0.0      0.02
.
.
365     5.6      -0.2      0.0      0.00

```

第一列是文件名，第一纵行是儒略日(Julian day)，第二纵行是空气日最高温度（℃），第二纵行是空气日最低温度（℃），第四纵行是日降雨量（厘米），第五纵行是日平均风速（米/秒）。

#### 格式 5

```

IA1987
1      -0.5      -4.5      0.0      0.25      19.169
2       0.0      -1.2      1.2      1.10      16.321
3       3.5       0.8      0.5      0.80      17.418
4       5.7       2.0      0.0      0.02      21.009
.
.
365     5.6      -0.2      0.0      0.00      17.239

```

第一列是文件名，第一纵行是儒略日(Julian day)，第二纵行是空气日最高温度（℃），第二纵行是空气日最低温度（℃），第四纵行是日降雨量（厘米），第五纵行是日平均风速（米/秒），第六是太阳

辐射（百万焦耳/平方米/日）。

在此页中，DNDC 为氨（NH<sub>3</sub>）和二氧化碳（CO<sub>2</sub>）的大气背景浓度提供了默认值，你可使用此值或对它们进行修改。当你完成此页上所有输入项目后，点击【接受】键，所有输入的信息将移入计算机的内存。在移入过程中，DNDC 会检查气象文件中是否有错误；若有错误，DNDC 将作出提示。

第 2 页：土壤

点击在输入界面页上方的【土壤】键，打开土壤参数页（图 4），准备输入土壤参数。

Input Information

气候土壤农田管理Save

土地利用类型(1)旱地

质地

质地类型(3)砂壤土0.09粘土比例(0-1)0.09

容重(g/cm^3)1.32田间持水量(wfps, 0-1)0.32饱和导水率(m/小时)0.1248

酸碱性(pH)6.75萎蔫点(wfps, 0-1)0.15孔隙度(0-1)0.435

结构

大空隙有否无旁侧流率(0-1)0隔水层深度(m)9.99

土壤滞水问题有否无最高地下水位(m)9.99

起始土壤有机碳(SOC)含量、剖面及分配

表层(0-5cm)土壤有机碳含量(kg C/kg)0.008

SOC剖面

重新定义否

SOC含量均匀的表层土厚度(m)0.2

表层土之下SOC含量降低速率(0.5-5.0)2

SOC各库分配

重新定义否

总体C/N比值10.9

极活性凋落物	活性凋落物	惰性凋落物	活性腐殖质	惰性腐殖质	无机碳
比例000.010.00160.98840	C/N5251001010500				

设定系数改变土壤有机碳分解速率

凋落物1活性腐殖质1惰性腐殖质1

起始表层土壤 NO3(-) 含量(mg N/kg)0.5

起始表层土壤 NH4(+) 含量(mg N/kg)0.05

土壤微生物活性指数(0-1)1

土壤坡度(%)0

使用 SCS 曲线计算地表径流

接受

OKCancelApplyHelp

图 4. 土壤数据输入

输入项目	解释
土地利用类型	选择当前土地利用类型。选项为：旱作农田、水稻田、湿润草地/牧场、干旱草地/牧场、湿地。
质地类型	根据土壤质地类型或粘土成分含量来选择一种土壤类型。共有 12 种类型，包括沙土、肥沙土、淤泥肥土、肥土、沙粘肥土、淤泥粘肥土、粘肥土、沙粘土、淤泥粘土和有机土。

容重 (g/cm <sup>3</sup> )	上层土壤 (0-10cm) 的密度。
酸碱度	上层土壤的 pH 值。
粘土含量 (0-1)	土壤中的粘土重量比例。当选择了土壤质地后, 默认粘土含量会出现, 使用者可以对此值进行修改。
田间持水量 (0-1)	在田间持水量时土壤水分在土壤孔隙度中占的比例 (WFPS)。当选择了土壤质地后, 默认田间持水量值会出现, 使用者可以对此进行修改。
萎蔫点 (0-1)	在土壤萎蔫点时土壤水分在土壤孔隙度中占的比例 (WFPS)。当选择了土壤质地后, 默认土壤土壤萎蔫点值会出现, 使用者可以对此进行修改。
饱和导水率 (m/小时)	土壤饱和时水传导的速率 (米/小时)。当选择了土壤质地后, 默认饱和导水率值会出现, 使用者可以对此进行修改。
空隙度 (0-1)	土壤空隙在土壤总体积的比例。当选择了土壤质地后, 默认土壤空隙度值会出现, 使用者可以对此进行修改。
大空隙	如选择“是”键, 表明土壤结构中有大的裂隙或空洞, 导致土壤中旁侧水流发生 (热带土壤普遍)。
旁侧流率 (0-1)	如果土壤有大的空隙, 需定义进入旁侧水流的大气降水比例。
隔水层深度 (米)	如果在 0.5 米土层中有隔水层或土壤压缩层 (放牧多的牧场), 需定义其深度。
土壤滞水问题	如果由于表层土壤有滞水问题, 你可选择“是”。
最高地下水位 (米)	默认值为 9.99 米, 表明表层土壤无滞水问题。如果由于表层土壤有滞水问题, 需定义地下水位最高时的深度。
表层土 (0-5 厘米) 有机碳含量 (千克碳/千克土壤)	土壤有机碳 (SOC) 的总量包括凋落物、微生物及腐殖质。定义了 SOC 的总含量后, SOC 在 0-50 厘米的剖面分布及在各 SOC 分库的分配由 DNDC 自动设定。
SOC 剖面: 重新定义	选择此项可使使用者对 SOC 剖面重新设定。
SOC 含量均匀的表土厚度	定义一个土壤深度, 在此深度范围内 SOC 含量均一。
表土之下 SOC 随深度递减速率	在 SOC 均匀深度之下, SOC 含量随深度变化的速率。速率越大, SOC 含量随深度减少得越快。若速率小于 1.0, 意味着 SOC 的含量随着土壤深度增加而增加 (如泥炭土)。
SOC 各库分配: 重新定义	选择此项可重新定义 SOC 在不同土壤碳库的分配。
总体 C/N 比值	土壤总体碳/氮含量比值
极活性凋落物	土壤中非常易分解的凋落物。
活性凋落物	土壤中较易分解的凋落物。
惰性凋落物	土壤中难分解的凋落物。
活性腐殖质	土壤中易分解的腐殖质
惰性腐殖质	土壤中难分解的腐殖质
无机碳	无机碳 (如木炭)
设定系数改变土壤有机质分解速率	选择此项可使使用者设置三个因子, 系统地改变凋落物、易分解的腐殖质及惰性的腐殖质的分解速度。
起始表层土壤 NO <sub>3</sub> 含量 (mg N/kg)	根据土壤有机碳含量及其它条件, DNDC 自动计算土壤表层的初始硝态氮含量, 使用者可对此默认值进行修改。
起始表层土壤 NH <sub>4</sub> 含量 (mg N/kg)	根据土壤有机碳含量及其它条件, DNDC 自动计算土壤表层的初始铵态氮含量, 使用者可对此默认值进行修改。

土壤微生物活性指数	用一个小于 1, 0 的值来表示受有毒物质影响土壤微生物活动下降的状况。默认值 1.0 则表示土壤微生物活动正常。
土壤坡度	土壤的坡度用百分比（0-100）。平坦土壤的坡度是 0。
使用 SCS 曲线计算地表径流	选择此项令 DNDC 使用事先备好的地表水文参数计算地表径流

当输入过程完后，别忘记点击【接受】键使输入的数据转入到计算机的内存中。如果你没有点击【接受】键就离开此页，你将丢失新输入的或者修改过的数据。

### 第 3 页：农田管理

图 5. 农田管理信息输入：轮作系统和年循环

设想你要对一块农田进行多年模拟，这片农田在被模拟的期间轮作系统有变化。为了对所模拟的种植系统顺序进行定义，需要回答以下几个关键的问题：

- (1) 需要进行多少年的模拟？
  - 100 年。

(2) 在此 100 年模拟中有多少轮作系统？  
- 两种轮作系统（玉米-大豆轮作，和冬小麦-撂荒-苜蓿轮作）。

(3) 每一种轮作系统持续的年数？  
- 玉米-大豆轮作持续 40 年，冬小麦-撂荒-苜蓿轮作持续 60 年。

(4) 每一轮作系统中一个循环要多少年？  
- 玉米-大豆轮作的一个循环为 2 年，冬小麦-撂荒-苜蓿的一个循环要 3 年。

(5) 每一个循环中每一年内的农业管理措施是什么？  
- 玉米-大豆轮作的第一年，种玉米，两次常规犁地，播种时施用 120 公斤/公顷的尿素氮；第二年，种大豆，两次常规犁地，不用化肥。冬小麦-撂荒-苜蓿轮作的第一年，种冬小麦，进行两次常规犁地，播种时施用 100 公斤/公顷的尿素氮；第二年，在冬小麦收割后，土地被撂荒，不犁地，不施肥；第三年，种苜蓿，作为闲置作物，不施化肥，成熟时通过犁地翻入土中。

该 100 年的轮作系统可用下表概括：

总年数：100；  
轮作系统数：2；  
第一轮作年数：40；  
第一轮作一个循环的年数：2；  
第一轮作循环第一年的作物：玉米；  
第一轮作循环第二年的作物：大豆；  
第二轮作年数：60；  
第二轮作一个循环的年数：3；  
第二轮作循环第一年的作物：冬小麦；  
第二轮作循环第二年的作物：撂荒；  
第二轮作循环第三年的作物：苜蓿。

只需对上列五个年份的农田管理措施一一定义，DNDC 将会自动建立各作物间和各年度间的连接，从而对建立起这 100 年的农业管理情景。使用者利用图 5 来实现对种植系统轮作的逐一定义。

输入项目	解释
总年数	本次模拟全程的总年数
轮作系统总数目	模拟全程的轮作系统总数目
轮作系统序数	根据轮作系统顺序编号选择一个轮作系统进行参数输入
此轮作系统持续的年数	所选轮作系统的持续时间长度（年数）
此轮作系统中一个循环的年数	所选轮作系统中一个循环的持续时间长度（年数）
此循环中的年序号	选择此循环中一个具体年份
定义选定年的管理措施	点击此键开始输入选定年的管理措施

第 4 页： 农作物

在“农作物”这一页，你将定义（1）在这一年里种植的作物类型，（2）播种和收割的日期，（3）秸秆还田比例，（4）各农作物的生理和物候学参数（DNDC 提供默认值，但是你可修改它们）（图 6）。

Farming Management Practices

农作物 | 耕耘 | 施化肥 | 有机肥施用 | 旱作灌溉 | 淹灌 | 塑膜技术 | 放牧及割草

在本年中种植的作物种数

作物种植序数

作物种类

这是多年生作物

这是闲置作物吗?

种植月份

收获月份

收获年份

地面上秸秆还田比例 (0-1)

所选作物的生长参数

	籽粒	叶茎	根
最高生物量, 公斤 C/公顷	2800	3556.76	1210.81
生物量分配比例	0.37	0.47	0.16
生物量 C/N 比值	55	155	155
总需氮量, 公斤 N/公顷	81.6676		
生长积温, 摄氏度/生长季	2550		
需水量, 克水/克干物质	200		
固氮系数	1		
管道结构系数 (0-1)	0		

接受

CropID	CropT...	Planting		Harvest		Mode	Residue	Yield
1st crop	1	5	1	10	1	1	0.200000	2800.0...

OK

Cancel

Apply

Help

图 6. 农作物类型、播种/收获日期、秸秆还田和作物生理/物候参数的输入

输入项目	解释
在本年中种植的作物种数	在这一年里新种植的作物数目。 这些作物可以连贯种植（轮种），也可以同时种植（即套种）。
作物种植序号	作物种植顺序编号。
作物种类	作物种类。可从 DNDC 提供的默认作物中选取。
这是多年生作物	选择此项将定义该作物为多年生作物。
这是闲置作物吗？	定义该作物是否为闲置作物。若是闲置作物，它的全部生物量将全部留在地里。
播种日期	播种的月份（1-12）和日（1-30）。
收获日期	收割的月份（1-12）和日（1-30）。
收获年份	定义收割年份。1 代表本年收割；2 代表下一年收割；3 代表第三年收割；以此类推。
地面上秸秆还田比例	庄稼收割后，作物地上生物量留茬的比率。
最高生物量，公斤碳/公顷	在最佳条件下，籽粒、叶茎和根的最大生物量。
生物量分配比例	在作物成熟时，生物量在籽粒、叶茎和根间的分配比例。
生物量 C/N 比值	在作物成熟时，生物量在籽粒、叶茎和根中碳/氮的含量比值。
总需氮量，公斤氮/公顷	作物在生长全程所需氮量。
生长积温，摄氏度/生长季	在作物生长期间，日平均气温的总积累量。
需水量，克水/克 干物质	生产一克作物干物质所需水量（克）。
固氮系数	作物固氮能力，其值等于（作物总需氮量/作物从土壤吸收氮量）
管道结构系数（0-1）	水生作物茎干管道通气功能

DNDC 提供 50 余种作物的默认生理及物候学参数，这些参数多来自北美的观测资料，可供参考。可供选取的作物如下：

- 0 荒地
- 1 玉米
- 2 冬小麦
- 3 大豆
- 4 豆类干草
- 5 非豆类干草
- 6 春小麦
- 7 甘蔗
- 8 大麦

- 9 燕麦
- 10 苜蓿
- 11 草地
- 12 多年生牧草
- 13 高粱
- 14 棉花
- 15 裸麦
- 16 蔬菜
- 17 新作物
- 18 土豆
- 19 甜菜
- 20 水稻
- 21 香蕉
- 22 芹菜
- 23 花生
- 24 旱稻
- 25 油菜
- 26 烟草
- 27 小米
- 28 向日葵
- 29 豆类
- 30 深水水稻
- 31 洋葱
- 32 椰子
- 33 草莓
- 34 生菜
- 35. 朝鲜蓊
- 36 花圃
- 37 抱子甘蓝
- 38 浆果
- 39 新作物
- 40 果树
- 41 柑橘
- 42 葡萄
- 43 饲料玉米



- 44 啤酒花
- 45 番茄
- 46 雨养水稻
- 47 闲置作物
- 48 红花
- 49 亚麻
- 50 芦苇
- 51 木薯
- 52 小菠菜
- 53 加州芥蓝
- 54 热带常绿树
- 55 新作物
- 56 葱
- 57 新作物
- 58 新作物
- 59 新作物
- 60 新作物
- 61 新作物
- 62 新作物
- 63 新作物
- 64 新作物
- 65 新作物
- 66 新作物
- 67 新作物
- 68 新作物
- 69 新作物
- 70 新作物
- 71 新作物
- 72 萝卜
- 73 辣椒
- 74 苋菜
- 75 新作物
- 76 新作物
- 77 新作物
- 78 新作物

## 79 新作物

你会发现在上表中有一些“新作物”，使用者可以利用 DNDC 提供的“作物创造者”这一软件工具在这些空白处增添自己的新作物。

作物生长模拟在农业生态系统模型中占有重要地位。作物生长需一方面从土壤中提取水分和氮，另一方面把枯枝败叶归还给土壤，从而控制土壤中的水分、碳和氮的动态变化，影响土壤中一系列生物地球化学反应，包括固碳作用和微量气体的释放。为了确保 DNDC 正确模拟土壤生物地球化学过程，使用者必须首先正确地模拟农作物生长。当一种作物类型被选定后，此作物的生理和物候参数的默认值会立即从作物资料库中被读出，并在此页“所选作物的生长参数”的栏目中显示出来；使用者可以修改这些生理和物候参数，以达到准确模拟作物生长过程及产量的目的。在此栏目中所作的修改只影响本例模拟，不改变作物数据库中的永久性默认参数值。只有“作物创造者”可以永久性地改变作物数据库中的默认参数值

### 第 5 页：耕耘

在此页定义耕地的次数、时间和方法（图 7）。

输入项目	解释
本年犁地次数	该年中耕地的次数。
犁地序数	每次耕地的顺序编号。
月，日	耕地的日期。
犁地方式	对耕地的深度可通过对以下默认方法选择一种来进行定义：（1）免耕（仅秸秆覆盖地面）（0 厘米），（2）轻翻耕（5 厘米）（3）用圆盘耙或齿耙翻耕（10 厘米），（4）用大板犁翻耕（20 厘米），（5）深翻耕（30 厘米）或（6）极深翻耕（50 厘米）。

Farming Management Practices

农作物 耕耘 施肥 有机肥施用 旱作灌溉 淹灌 塑膜技术 放牧及割草

本年犁地次数

犁地序号
1
上一次
下一次

月
4
日
25

犁地方式
(4) 大板犁, 20 厘米
接受

TillID	Month	Day	Method
1st till	4	25	4
2nd till	10	10	4

OK
Cancel
Apply
Help

图 7. 耕耘信息的输入

## 第 6 页：化肥施用

施化肥方法有三种：手工施肥、自动施肥和灌溉施肥。手工施肥是传统的方法，需定义本年中施肥的次数和每一次施肥的时间、方法、化肥类型以及施肥量（图 8）。

输入项目	解释
本年施肥次数	该年中施肥的次数。
施肥序号	每次施肥的顺序编号。
施肥日期	每次施肥的月份及日。
施肥深度	施肥深度：表施（0.2 厘米），或注入施肥（默认深度 15 厘米）。
本次施肥量	从七种类型化肥中选一种或几种, 定义每一种化肥的施量(公斤氮/公顷)。
可控缓释肥料	点击此按钮表示所用之化肥为可控缓释肥料，需定义化肥中的氮均匀释放出来日数。
使用硝化作用抑制剂	点击此按钮表示使用硝化作用抑制剂，需定义该抑制剂的效率及有效时间。

Farming Management Practices

农作物 | 耕耘 | 施化肥 | 有机肥施用 | 旱作灌溉 | 淹灌 | 塑膜技术 | 放牧及割草

● 手工施肥

本年施肥次数

施肥序号

施肥日期

施肥深度

本次施肥量 (公斤 N/公顷):

尿素

35

无水氨

0

碳酸氢铵

0

硝酸盐

0

硝酸铵

0

硫酸铵

0

磷酸铵

0

● 自动施肥

DNDC根据作物种植时土壤可给态氮含量及作物需氮量自动计算应施肥量，并一次性在种植时以尿素形态施入表层土壤

● 灌溉施肥

选用一事先备好的数据文件

可替代施肥方法

可控缓释肥料

有效氮释放日数

1

使用硝化作用抑制剂

效率 (0-1)

0

有效日数

0

接受

FerID	Month	Day	Method	Nitrate	NH4H...	Urea	NH3	NH4N...	(NH4)2...	(NH4)2...	Depth
1st till	5	1	0	0.000	0.000	35.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200
2nd till	6	15	0	0.000	0.000	35.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200

OKCancelApplyHelp

图 8. 化肥数据的输入

如果选择自动施肥, DNDC 在作物播种时自动计算作物需氮量及土壤中可给态氮含量，计算所得之差值为施肥量；DNDC 在作物播种之日将此量一次性地加入土壤，默认的化肥种类为尿素。

如果选择灌溉施肥，使用者需选择一个事先备好的文件，此文件包括施加于此农田每日的水和化肥氮的数量。

灌溉施肥文件数据格式如下：

OrganicFarm\_UCSC\_2005 (file name)

1	12	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	7	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.	.	.	.	.	.	.	.	.
365	10	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表中数据内容为：日、水（厘米）、硝酸盐、氨、碳酸氢氨、氨

水、硝酸铵、硫酸铵、磷酸铵（公斤氮/公顷）。

第 7 页：有机肥料施用

施用有机肥需定义施肥次数和每次施肥的时间、肥料类型及数量（图 9）。

输入项目	解释
本年施有机肥次数	该年施肥的次数。
施肥序号	每次施肥的顺序编码。
施肥日期	每次施肥的日月。
肥料种类	选择一种有机肥。 10 种有机肥在 DNDC 模型中已被参数化：农家肥、绿肥、麦草、浆状粪肥、动物粪便、堆肥、豆饼、人粪尿、家禽粪便、市政污泥和动物杂碎。
施用量	每次施肥的量（公斤碳/公顷）。
C/N 比值	有机肥中碳/氮比值。DNDC 提供默认值但使用者可修改。
含氮量	每次有机肥含氮量（公斤氮/公顷）
施用方法	施肥的方法：表施，或翻入土壤。

Farming Management Practices

农作物 | 耕耘 | 施化肥 | 有机肥施用 | 旱作灌溉 | 淹灌 | 塑膜技术 | 放牧及割草

本年施有机肥次数

施肥序号

1

上一次

下一次

接受

月

0

日

0

肥料种类

施用量 (公斤 C/公顷)

0

C/N 比值

0

含氮量 (公

0

施用方法

表施

埋入土壤

Application	Month	Day	Type	Manure-C	C/N	Manure-N

OK

Cancel

Apply

Help

图 9. 有机肥施用的数据输入

第 8 页: 旱田灌溉

灌溉是指把水浇入农田，但并不造成地表长期（大于 24 小时）积水。有两种方法来定义灌溉。第一种是通过【灌溉事件定义】，需定义灌溉次数及每次灌溉的日期和【灌溉水量】（厘米/次）。第二种方法是定义一个【灌溉系数】（0 到 1 之间的值）；如果被模拟的作物发生水胁迫，当日的灌溉水量将由该日缺水量与灌溉系数乘积所确定（图 10）。【灌溉方法】包括漫灌、喷灌和滴灌；它们有不同的蒸发作用和水渗透作用，因此具有不同的灌溉效果。

Farming Management Practices

农作物 | 耕耘 | 施化肥 | 有机肥施用 | 旱作灌溉 | 淹灌 | 塑膜技术 | 放牧及割草 |

灌溉输入方式

☒ 灌溉事件定义

灌溉事件次数

0

☐ 定义一个灌溉系数

灌溉系数 (0-1) =

0

每一灌溉事件日期及水量

灌溉事件序号

1

<-

->

月

0

日

0

灌溉水量 (厘米/次)

0

灌溉方法

☒ 漫灌

☐ 喷灌

☐ 滴灌

接受

Irr.ID	Month	Day	Water...	Method
--------	-------	-----	----------	--------

OK

Cancel

Apply

Help

图 10. 灌溉数据的输入

第 9 页: 水田淹灌

淹灌一般用于水稻田或湿地植物。有四种方法可供选择来定义淹灌的持续时间：（1）灌溉，（2）雨养，（3）使用观测水文数据，（4）经验公式法（图 11）。

输入项目	解释
灌溉	通过定义淹灌次数和淹灌时间来控制农田水情
本年淹灌次数	一年中反复淹灌的总次数
淹灌序数	每次淹灌的顺序编号
始于 月 日	每次淹灌的起始日期
终于 月 日	每次淹灌的终止日期
传统式淹灌	整个作物生长期间地面水层厚度保持大约 10 厘米
低限淹灌	整个作物生长期间地面水层厚度波动在地面上下 5 厘米，又称“干湿交替”。
由淹灌带入的氮量	整个作物生长期间，由淹灌水带入的总氮量（公斤 N/公顷）。
农田底部水渗漏速率	农田底部水渗漏速率（毫米/日）
雨养	全部淹灌水来自降雨。需定义一个集水面积系数，即（集水面积/农田面积）比值。
使用观测水位数据	选择一事先备好的水位数据文件，其中记录每日水位高度
经验公式法	每日水位由一组水文参数计算。通过对该点位历史观测水位动态数据分析，导出一组水文学参数，这些参数包括（1）起始水位高度（厘米），（2）降水表面流入系数，（3）终止表面水溢出的最低水位高度（厘米），（4）表面外流强度因子，（5）终止地下水水溢出的最高水位（厘米）及（6）地下水水流出的强度因子。依靠这些参数，DNDC 根据日降水数据自动计算每日水位。

**Farming Management Practices**

农作物 | 耕耘 | 施肥 | 有机肥施用 | 旱作灌溉 | 淹灌 | 塑料技术 | 放牧及割草

农田水位控制方法:

灌溉 ☒

本年淹灌次数  淹灌序数

始于 月  日  终于 月  日

传统式淹灌 (水深10厘米) ☒ 低限淹灌 (水深波动于-5-5厘米之间) ☐

由淹灌带入的氮量 (公斤 N/公顷)  农田底部水渗漏速率 (毫米/日)

雨养 ☐

集水面积系数

使用观测水位数据 ☐

选一个备好的水位数据文件

None

经验公式法 ☐

起始水位, 厘米\*  降水流入农田的比例值

地表水停止外流的水位高度, 厘米\*  地表水流出的强度系数

地下水停止外流的水位高度, 厘米\*  地下水流出的强度系数

(\*正值代表水位高度高于土面, 负值低于土面)

Flood ID | Flood-M | Flood-D | Drain-M | Drain-D

接受

OK Cancel Apply Help

图 11. 湿地或水田淹灌数据输入

控制方法 3 （即利用观测水位数据），使用者需要事先准备一个观测水位数据文件，其文件的格式如下：

Coalburn_UK_1990_C_WETLand (file name)	
Julian_day	WaterTable_cm
1	-1.3
10	-5.2
22	-7.0
35	-3.9
40	-1.3
51	-2.0
102	-6.6
150	9.4
203	8.3
250	24.8
300	17.1
307	8.2
317	-1.0
321	-4.5
338	-2.2
340	-1.0
356	-6.0
360	-4.9

数据中负值表示水位低于土壤表层的深度，而正值则表示水位高于土壤表层的高度，皆以厘米为单位。

经验公式法是通过对该点位历史观测水位动态数据分析，导出一组水文学参数，这些参数包括（1）起始水位高度（厘米），（2）降水表面流入系数，（3）终止表面水溢出的最低水位高度（厘米），（4）表面外流强度因子，（5）终止地下水水溢出的最高水位（厘米）及（6）地下水水流出的强度因子。依靠这些参数，DNDC根据日降水数据自动计算每日水位。

第 10 页：塑膜技术

塑膜技术包括大棚温室和地膜覆盖。需定义本年使用大棚温室或地膜覆盖的次数及每次的起始和结束日期。塑膜技术的应用将改变模拟种植系统的气温及土壤温度和湿度（图 12）。



Farming Management Practices

农作物

耕耘

施化肥

有机肥施用

旱作灌溉

淹灌

塑膜技术

放牧及割草

使用方式

☒ 大棚温室
 ☐ 地膜覆盖

本年铺设次数

0

铺设序号

1

<

>

始于

月

0

日

0

终于

月

0

日

0

接受

ID	Month	Day	Month	Day
1st plastic	0	0	0	0

OK

Cancel

Apply

Help

图 12. 塑膜技术数据输入

## 第 11 页：放牧和割草

放牧一般用于草地和牧场。放牧要求定义牲畜的类型、数量和放牧的时间，这些参数用来计算放牧时的牧草消耗及牲畜粪便的排放（图 13）。

输入项目	解释
本年放牧次数	此年中放牧的次数
放牧序号	每次放牧的顺序编号
起始 月 日	每次放牧的起始日期
终止 月 日	每次放牧的终止日期
每日放牧小时数	牲畜每天在地里停留的小时数
放牧强度	牛、马或羊的数量（头/公顷）

**Farming Management Practices**

农作物 | 耕耘 | 施化肥 | 有机肥施用 | 旱作灌溉 | 淹灌 | 塑膜技术 | 放牧及割草

放牧

本年放牧次数

放牧序号  上一次 下一次

起始 月  日

终止 月  日

每日放牧小时数

放牧强度 (头/公顷):

牛  马  羊

枝叶割收

割收次数

割收序号  上一次 下一次

月  日

割收部位 ☐ 果实 ☐ 叶 ☐ 茎 ☐ 根

割收比例 (0-1)

接受

Graz.ID	Start M	Start D...	End M	End Day	Cattle	Horse	Sheep	Hours

Cut.ID	Month	Day	Fraction

OK Cancel Apply Help

图 13. 放牧和割草数据输入

本页另一部分用来定义作物的收割、采摘、剪枝等。

输入项目	解释
割收次数	此年中收割、采摘或剪枝的次数
割收序号	每次割收的顺序编号
割收日期	每次割收的日期
割收部位	可分别或同时割收果实、叶、茎及根
割收比例	割收的生物量占相应部位的总生物量的比例，是一小数值。

至此，我们已完成了点位尺度上所有数据输入的工作。此时，你可点击在主菜单下方的【OK】键，DNDC 将自动把你输入的全部数据转换成一组 DNDC 可辨认的内部文件储存在 C:\DNDC\Result\Inputs\目录下。对本例模拟而言，这意味着你已经完成了你的任务，剩下的都是 DNDC 的事了。

1.2. 保存输入参数

参数输入的过程有时是枯燥的。千辛万苦输入的数据最好及时保存下来，以备后用。为此，请点击主菜单上方的【存储输入数据】页面，打开最后一页输入界面。在此页上点击：【存数据】按钮；给这个文件起个名字，找个地方存起来；输入的数据就会在这个文件中全部保存下来（图 14）。

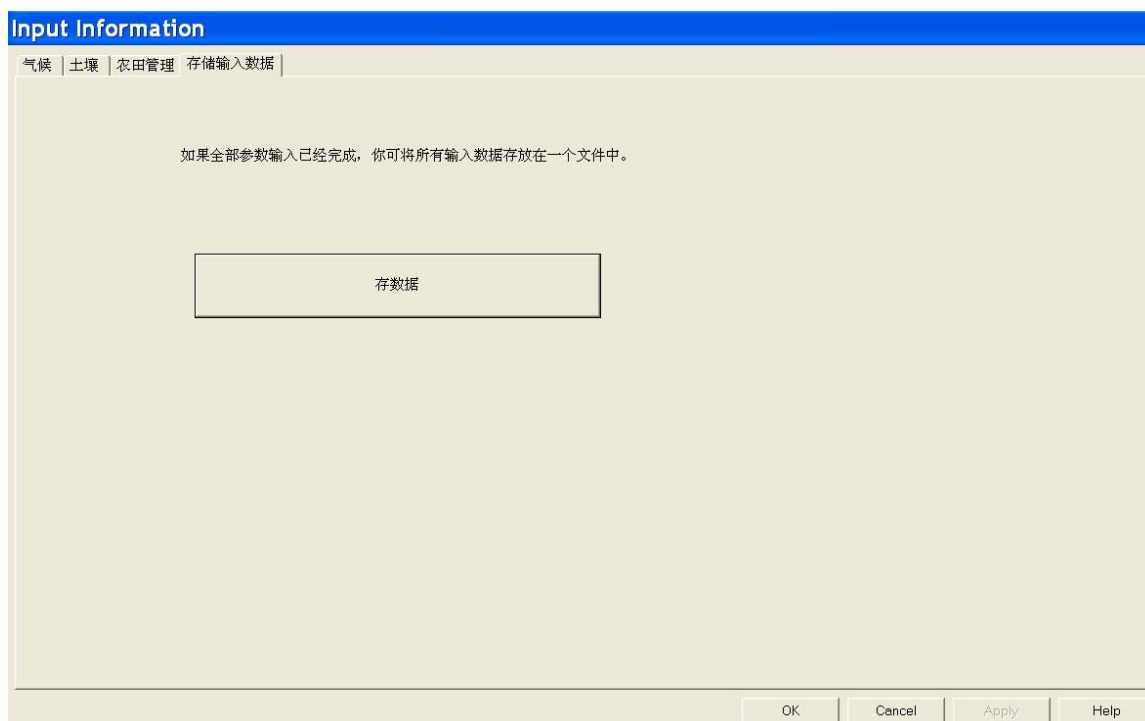


图 14. 保存输入参数

这个保存下来的文件是单纯文本格式的，使用者可用 NotePad、WordPad、TextPad 或其它编辑软件来打开并审阅其内容。当你变得对这种输入文件熟悉后，你甚至可以通过对这种文件的修改，去创造新的输入情景。下面提供一个输入文件作为例子，使你了解其内容与格式。

```
Input_Parameters:
```

```
-----  
Site_data: Arrou9899  
Simulated_Year: 2  
Latitude: 48.100  
Daily_Record: 1  
-----
```

Climate\_data:  
Climate\_Data\_Type: 1  
NO3NH4\_in\_Rainfall 1.0000  
NO3\_of\_Atmosphere 0.0600  
BaseCO2\_of\_Atmosphere 350.0000  
Climate\_file\_count= 2  
1 C:\DNDC\N2O\Arrou\Climate\Arrou\_1998.txt  
2 C:\DNDC\N2O\Arrou\Climate\Arrou\_1999.txt  
Climate\_file\_mode

CO2\_increase\_rate 0.000000

-----  
Soil\_data:  
Soil\_Texture 4  
Landuse\_Type 1  
Density 1.29000  
Soil\_pH 6.40000  
SOC\_at\_Surface 0.00960  
Clay\_fraction 0.13700  
BypassFlow 0.00000  
Litter\_SOC 0.01000  
Humads\_SOC 0.04800  
Humus\_SOC 0.94200  
Soil\_NO3(-)(mgN/kg) 0.59875  
Soil\_NH4(+)(mgN/kg) 0.05988  
Moisture 0.30000  
Temperature 7.45000  
Field\_capacity 0.400000  
Wilting\_point 0.200000  
Hydro\_conductivity 0.025920  
Soil\_porosity 0.485000  
SOC\_profile\_A 0.200000  
SOC\_profile\_B 2.000000  
DC\_litter\_factor 1.000000  
DC\_humads\_factor 1.000000  
DC\_humus\_factor 1.000000  
Humad\_CN 10.000000  
Humus\_CN 10.000000  
Soil\_PassiveC 0.000000  
Soil\_microbial\_index 1.000000

Highest\_WT\_depth 9.990000  
Depth\_WRL\_m 9.990000  
Slope 0.000000  
Use\_ION\_file 0

-----  
Crop\_data:

Rotation\_Number= 1  
Rotation\_ID= 1  
Totalyear= 2  
Years\_Of\_A\_Cycle= 2  
YearID\_of\_a\_cycle= 1  
Crop\_total\_Number= 2  
Crop\_ID= 1  
Crop\_Type= 25  
Plant\_time= 1 1  
Harvest\_time= 6 1  
Year\_of\_harvest= 1  
Ground\_Residue= 1.000000  
Yield= 2400.000000  
Rate\_reproductive= 0.020000  
Rate\_vegetative= 0.040000  
Psn\_efficiency= 0.480000  
Psn\_maximum= 35.000000  
Initial\_biomass= 12.500000  
Cover\_crop= 0  
Perennial\_crop= 0  
Grain\_fraction= 0.450000  
Shoot\_fraction= 0.400000  
Root\_fraction= 0.150000  
Grain\_CN= 12.000000  
Shoot\_CN= 45.000000  
Root\_CN= 52.000000  
TDD= 700.000000  
Water\_requirement= 450.000000  
Max\_LAI= 4.000000  
N\_fixation= 1.000000  
Vascularity= 0.000000  
Crop\_ID= 2  
Crop\_Type= 2  
Plant\_time= 10 21

Harvest\_time= 7 12  
Year\_of\_harvest= 2  
Ground\_Residue= 0.500000  
Yield= 3500.000000  
Rate\_reproductive= 0.026500  
Rate\_vegetative= 0.030000  
Psn\_efficiency= 0.400000  
Psn\_maximum= 40.000000  
Initial\_biomass= 12.500000  
Cover\_crop= 0  
Perennial\_crop= 0  
Grain\_fraction= 0.450000  
Shoot\_fraction= 0.380000  
Root\_fraction= 0.170000  
Grain\_CN= 30.000000  
Shoot\_CN= 70.000000  
Root\_CN= 75.000000  
TDD= 1300.000000  
Water\_requirement= 180.000000  
Max\_LAI= 3.000000  
N\_fixation= 1.000000  
Vascularity= 0.000000  
Tillage\_number= 1  
Tillage\_ID= 1

Month/Day/method= 6 2 5  
Fertil\_number= 1  
fertilization\_ID= 1  
Month/Day/method= 1 1 0  
Depth= 0.200000  
Nitrate= 0.000000  
AmmBic= 0.000000  
Urea= 0.000000  
Anh= 0.000000  
NH4NO3= 90.000000  
NH42SO4= 0.000000  
NH4HPO4= 0.000000  
Release\_rate= 1.000000  
Inhibitor\_efficiency= 0.000000  
Inhibitor\_duration= 0.000000

FertilizationOption= 0  
Manure\_number= 0  
Weed\_number= 0  
Weed\_Problem= 0  
Flood\_number= 0  
Leak\_type= 1  
Water\_control= 0  
Leak\_rate= 0.000000  
Water\_gather= 1.000000  
WT\_file= None0.000000  
Empirical\_parameters= 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0  
Irrigation\_number= 0  
Irrigation\_type= 0  
Irrigation\_Index= 0.000000  
Grazing\_number= 0  
Cut\_number= 0  
YearID\_of\_a\_cycle= 2  
Crop\_total\_Number= 0  
Tillage\_number= 1  
Tillage\_ID= 1  
Month/Day/method= 7 13 5  
Fertil\_number= 3  
fertilization\_ID= 1  
Month/Day/method= 2 6 0  
Depth= 0.200000  
Nitrate= 0.000000  
AmmBic= 0.000000  
Urea= 0.000000  
Anh= 0.000000  
NH4NO3= 58.000000  
NH42SO4= 0.000000  
NH4HPO4= 0.000000  
  
Release\_rate= 1.000000  
Inhibitor\_efficiency= 0.000000  
Inhibitor\_duration= 0.000000  
fertilization\_ID= 2  
Month/Day/method= 3 12 0  
Depth= 0.200000  
Nitrate= 0.000000

AmmBic= 0.000000  
Urea= 42.000000  
Anh= 0.000000  
NH4NO3= 41.000000  
NH42SO4= 0.000000  
NH4HPO4= 0.000000  
Release\_rate= 1.000000  
Inhibitor\_efficiency= 0.000000  
Inhibitor\_duration= 0.000000  
fertilization\_ID= 3  
Month/Day/method= 3 27 0  
Depth= 0.200000  
Nitrate= 0.000000  
AmmBic= 0.000000  
Urea= 20.000000  
Anh= 0.000000  
NH4NO3= 20.000000  
NH42SO4= 0.000000  
NH4HPO4= 0.000000  
Release\_rate= 1.000000  
Inhibitor\_efficiency= 0.000000  
Inhibitor\_duration= 0.000000  
FertilizationOption= 0  
Manure\_number= 0  
Weed\_number= 0  
Weed\_Problem= 0  
Flood\_number= 0  
Leak\_type= 1  
Water\_control= 0  
Leak\_rate= 0.000000  
Water\_gather= 1.000000  
WT\_file= None0.000000  
Empirical\_parameters= 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0  
Irrigation\_number= 0  
Irrigation\_type= 0  
Irrigation\_Index= 0.000000  
Grazing\_number= 0  
Cut\_number= 0  
Crop\_model\_approach 0



以后，你如果想调用早先保存的输入参数文件，就在【气候】页中点击【打开一个输入参数文件】按钮，去寻找你想要的文件。打开该文件后，DNDC 将自动将所有输入参数展现在各有关页面上，就仿佛你自己又把它们重新输入了一遍一样。

### 1.3 点位尺度模拟

当数据输入程序完成后，在主菜单上点击【点位】/【模拟】去激活模拟过程。在模拟的过程中，屏幕上有 7 个窗口分别显示每天的气象、土壤气候、土壤化学、植物生长、土壤微生物活动、气体释放及土壤碳氮剖面的动态变化（图 15）。



图 15. 模拟运算中气象、土壤、作物、微生物、气体排放日动态的显示

- 窗口 1（左上角）显示模拟点位的名字和年序号。
- 窗口 2（左中）显示土壤 0-50 厘米深度有机碳和无机氮的剖面

状。

窗口 3 (中间 1) 显示每天空气温度、降雨、积雪、蒸发和蒸腾作用。

窗口 4 (中间 2) 显示作物的生物量、氮吸收、水胁迫和氮胁迫。

窗口 5 (中间 3) 显示土壤温度、水分、氧化还原电势、冰含量、硝态氮和铵态氮含量及土壤水下渗漏。

窗口 6 (中间 4) 显示土壤分解作用、硝化作用、反硝化作用、甲烷生成和甲烷氧化作用的日速率。

窗口 7 (中间 5) 显示  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ , 和  $\text{N}_2$  的日排放。

这些窗口可以让使用者在模拟的过程中观察几个主要因子的动态情况。模拟结果的详细数据都存放在 C:\DNDC\Result\Record\Site\目录下的文件中。

## 1.4 快速查看模拟结果

DNDC 自动记录的模拟结果数据包括每天和每年的作物生物量、碳和氮的库和流、水份平衡以及温室气体的排放。这些结果数据都存放在 C:\DNDC\Result\Record\Site\目录下一系列文件中。所有的文件都是文本格式, 可用文字编辑或账单软件打开审阅或再加工。结果数据的详细内容将在“四. 模拟结果数据”中描述。如果使用者想在模拟后快速浏览一下结果, 可在主菜单上点击【点位】/【结果】, 一个新页会打开, 在这上边, 可以选择你想检查的年份和项目 (图 16)。

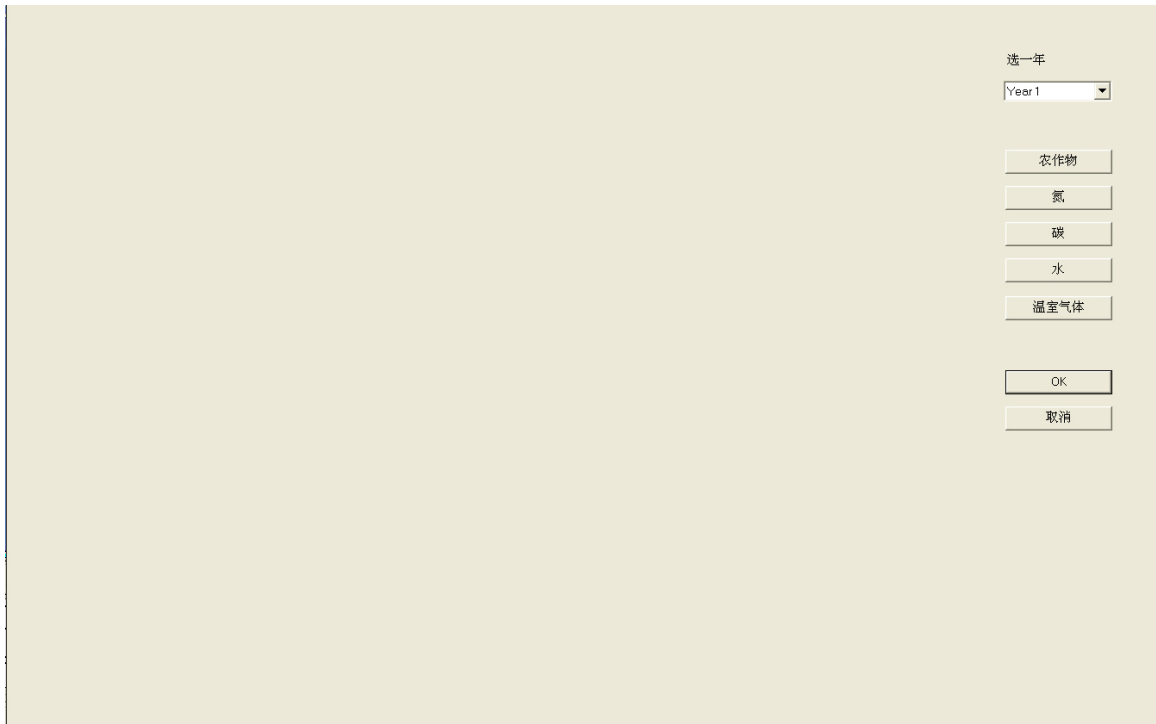


图 16， 快速检查模拟结果的目录菜单

在此主菜单上，点击【**农作物**】按钮，一个作物产量的图表会被画出（图 17）。此图表中，黄色的条带代表籽粒、叶茎和根的理想产量，绿色的条带代表由 DNDC 算出的实际产量。如果实际产量比理想产量低，可查看本图表中的积温、水吸收和氮吸收；通过对积温、水或氮的需求量与实际吸收量的比较来估计作物减产的原因。这张图表为你提供了一个机会来理解为什么被模拟的作物产量或与理想产量不一样。假如你不满意模拟的产量，你可回到【**农作物**】输入页去调整该作物的相关生理和物候参数，重新模拟，再看结果。通过这样反复调整，可能获得比较理想的作物参数。

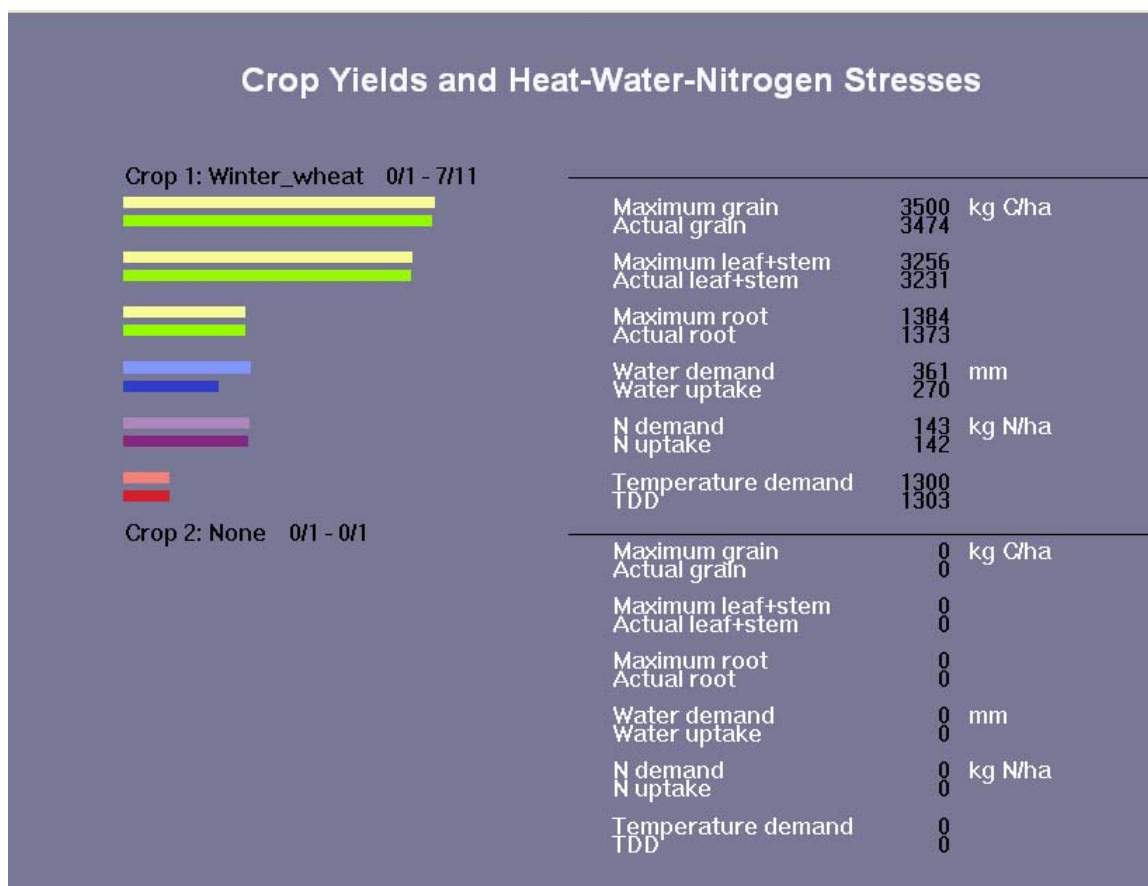


图 17. 农作物模拟的结果

点击【**氮**】按钮，将出现一个图表显示被模拟的作物-土壤系统的年度氮收支平衡（图 18）。进入系统的氮来自有机肥使用、作物凋落物（茬和根）、大气沉降、化肥使用以及生物固氮作用。系统的氮丢失包括淋溶、地表径流、作物吸收、氨挥发及氧化亚氮、一氧化氮和氮气的排放。

点击【**碳**】按钮，将出现一个图表显示被模拟的作物-土壤系统的年度碳收支平衡（图 19）。系统获得的碳包括从有机肥使用和作物凋落物（茬和根）输入。从系统中丢失的碳包括由于土壤微生物异养呼吸、DOC 淋溶和甲烷排放所造成的输出。

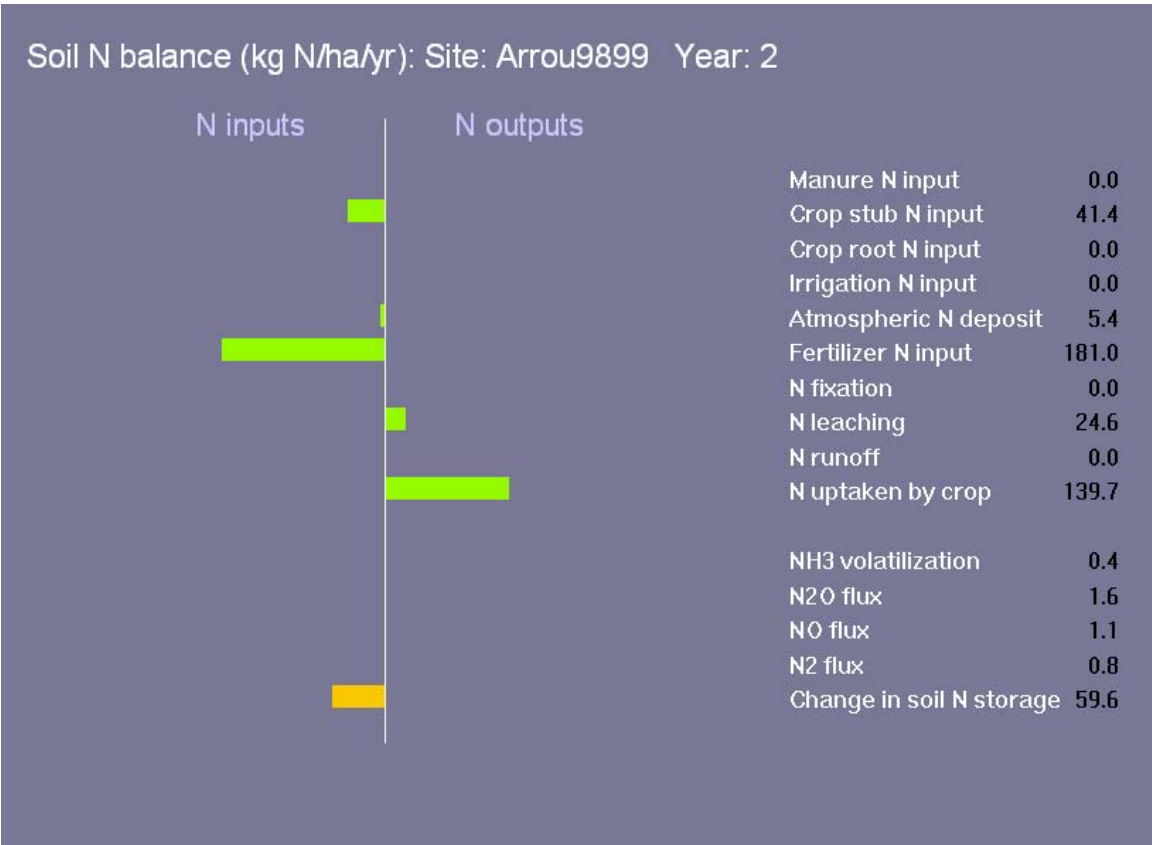


图 18. 模拟的土壤氮收支平衡

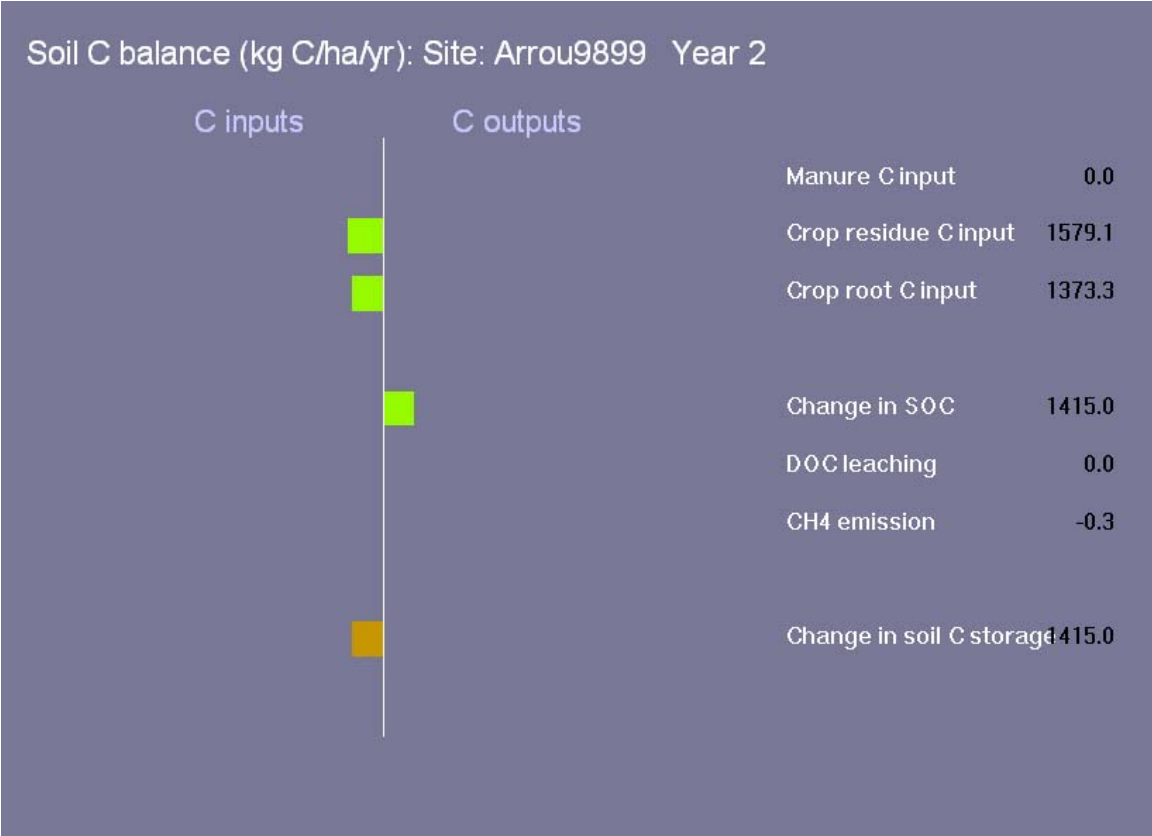


图 19. 模拟的土壤碳收支平衡

点击【水】按钮，将出现一个图表显示被模拟的作物-土壤系统的年度水分收支平衡（图 20）。系统中收入的水包括降水、灌溉及地下水补给。系统支出的水包括植物蒸腾作用、土壤蒸发作用、水田表面水蒸发、淋溶和地表径流输出。

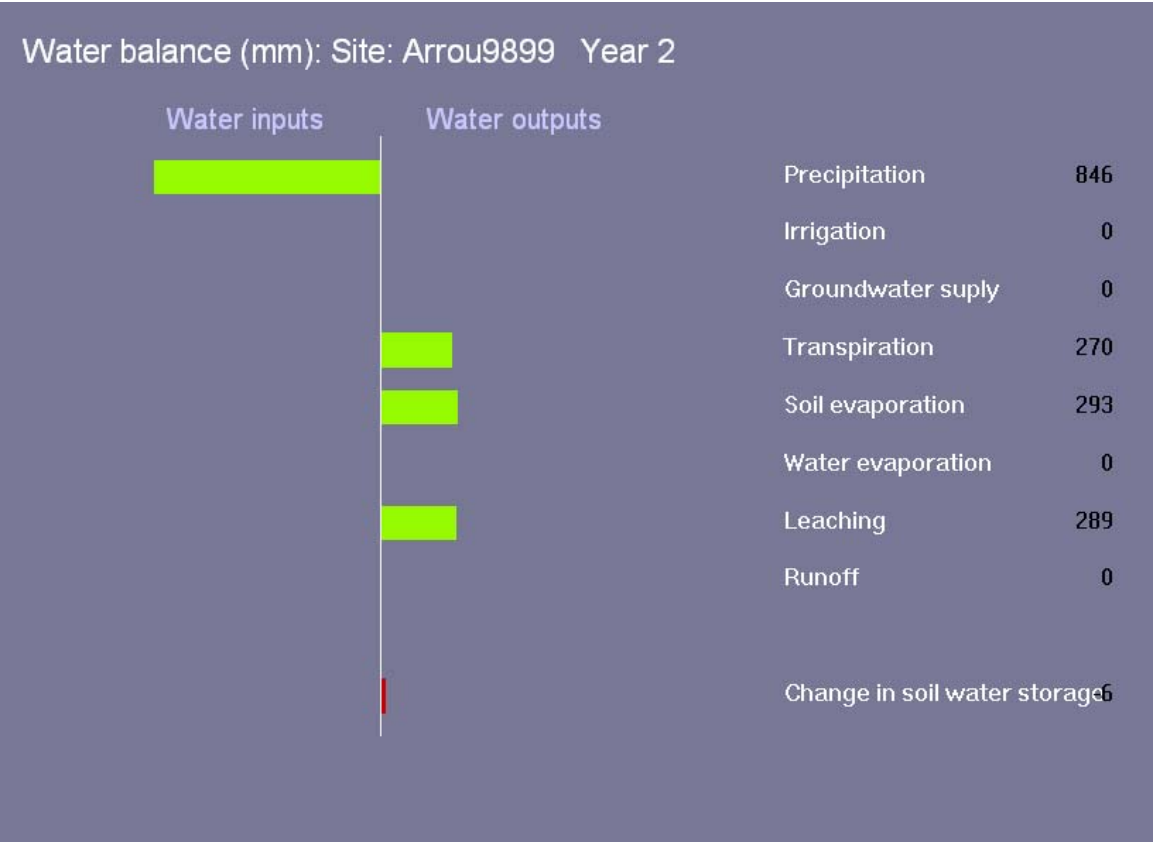


图 20. 模拟结果 4：土壤水分收支平衡

点击【温室气体】按钮，将显示三种温室气体，即二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)和氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)的年排放量。例外，根据每种气体的百年尺度增温效能，DNDC 还将每种气体排放量换算成全球升温潜势(GWP)。全球升温潜势以 CO<sub>2</sub>当量表示，单位是 CO<sub>2</sub>当量/公顷/年。被模拟的农业生态系统对全球气温升高的贡献是三种温室气体排放 GWP 值的代数和(图 21)。

这一快速检查功能为使用者提供模拟的基本结果，使其了解在本农业生态系统中碳、氮和水的大概动力状况，而不需要对模拟结果进

行详细处理。这样可以节约时间，特别是在模型参数调试阶段。

Greenhouse Gases: Site: Arro9899 Year: 2			
Greenhouse gas	CO2	N2O	CH4
Flux rate	-1415 kg C/ha	1.6 kg N/ha	-0 kg C/ha
GWP	-5188 kg CO2-equivalent/ha	760	-7
Net GWP	-4436 kg CO2-equivalent/ha		

图 21. 模拟的温室气体排放量及对全球增温贡献

1.5 批量模拟

因为 DNDC 要求的输入文件是文本格式，因此使用者可利用各种不同的文字编辑器和编写程序软件来复制并创造一系列输入文件。在敏感度测定或不确定性分析中，常常需要重复一个情景，而每次重复模拟只改变一个或几个参数。这种对输入文件批量生产和批量模拟的方法对这种模拟是很方便的。DNDC 提供一种界面，可使使用者用他们的大批量输入文件进行模拟。使用这种功能，使用者只需事先将使用输入文件准备好，并将所有文件的名称和路径写入一个目录文件。该目录文件格式如下：



5  
C:\Database\Scenario\_1.dnd  
C:\Database\Scenario\_2.dnd  
C:\Database\Scenario\_3.dnd  
C:\Database\Scenario\_4.dnd  
C:\Database\Scenario\_5.dnd

点击 DNDC 主菜单上的【工具】/【批量模拟】选项，一个对话框出现，让你选择一个含有全部输入文件名字及路径的目录文件（图 22）。点击【OK】键后，批量模拟即自动开始。

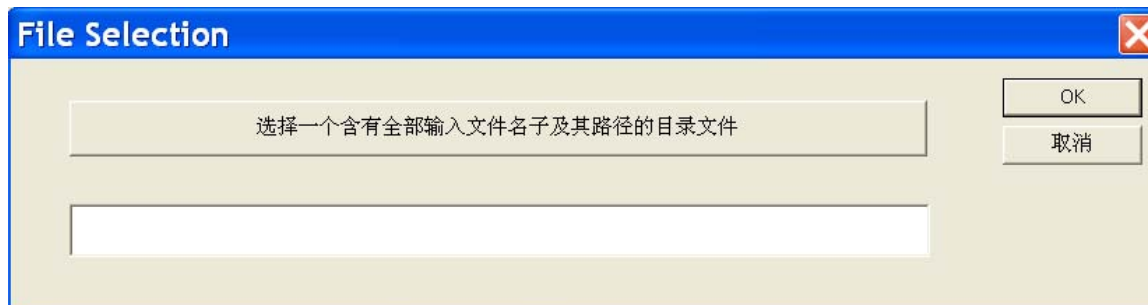


图 22. 选择一个事先准备好的含有全部输入文件名字及路径的目录文件进行批量模拟

## 2. 区域模式

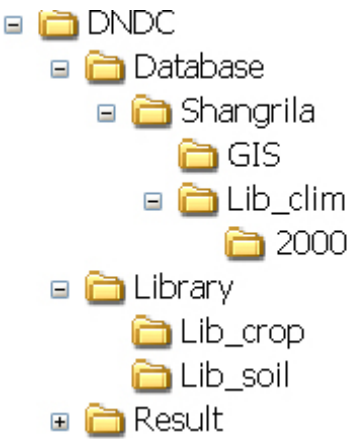
为实施区域模拟，DNDC 需从数据库中读取全部区域输入信息。一个区域可划分成许多多边形或格点，这些多边形或格点就是数据库的基本单元。每一个多边形或格点有自己特定的气象、土壤、作物及管理数据。多边形或格点的解析度取决于所有输入数据中解析度最小（即最粗糙）的数据。

支持 DNDC 区域模拟的数据库包括 7 个地理信息系统(GIS)文件、一个气象数据库、一个作物数据库和一个土壤数据库。7 个 GIS 文件包括了与格点坐标相关联的地理信息数据，如地理位置、气象台站标号、土壤特性、作物种类、农田管理等。气象数据库包含各气象站的日气象数据。作物数据库包括各类作物的生理及物候学参数。土壤



数据库包括各类土壤特性。

在你收到的 DNDC 的整套文件中，有一个区域数据库的例子，该区域名为“香格里拉 “（Shangrila）。香格里拉数据库应在你计算机的“C:\DNDC\Database”目录下。在该数据库里， 有两个文件夹标有“GIS”和“Lib\_clim”，里边分别装有 GIS 文件和气象数据文件。在“C:\DNDC\Library”目录下，有作物和土壤数据库。DNDC 在 C 盘安装好后，其目录结构如下：



在区域模拟过程中，DNDC 对所有格点逐一模拟。在模拟每一格点时，DNDC 先从数据库中读取该格点的所有输入数据，然后把这些信息重新组织成为 DNDC 特定要求的内部文件去实施模拟。

2.1 地理信息数据库

在“\DNDC\Database\Shangrila\GIS 目录下储存有 7 个文件，这些文件的名字和内容如下：

Shangrilar\_1.txt （地理位置、气象台站、土壤性质等）

ID	Region	Cell	lon	lat	Climate	N_dep	SOCmax	SOCmin	CLAYmax	CLAYmin	pHmax	pHmin	DENSmax	DENSmin
230101	Shangrila	S_1	102.6	25.0	56763	0.84	0.014	0.007	0.6	0.5	6	5	1.32	1.15
230102	Shangrila	S_2	102.6	25.0	56763	0.84	0.014	0.01	0.05	0.01	7	6	1.32	1.15
230103	Shangrila	S_3	102.8	24.8	56763	0.85	0.014	0.007	0.6	0.5	6	5	1.32	1.15
230104	Shangrila	S_4	102.7	24.6	56763	0.85	0.014	0.007	0.6	0.5	6	5	1.32	1.15
230105	Shangrila	S_5	102.4	24.9	56763	0.85	0.01	0.007	0.6	0.5	6	5	1.32	1.19

文件内容:

项目	内容
ID	格点的标号
Region	区域的名字
Cell	格点的名字
lon	经度
lat	纬度
Climate	气象台站名
N_dep	降雨中氮含量 (ppm)
SOCmax	土壤有机碳的最高含量(公斤 C/公斤)
SOCmin	土壤有机碳的最低含量(公斤 C/公斤)
CLAYmax	土壤粘土最高含量
CLAYmin	土壤粘土最低含量
PHmax	土壤最高 pH 值
PHmin	土壤最低 pH 值
DENSmax	土壤容重最高值 (克/立方厘米)
DENSmin	土壤容重最低值 (克/立方厘米)

Shangrilar\_2.txt （各类种植系统面积，公顷）

File name: Shangrila\_2.txt

Number of cropping systems														Cropping system name	Cropping system ID
Cropping system area in hectares															
30	30	0	2_1	2	3	9	13	14	18	19	20	23	25		
230101	0	15	758	89	0	0	0	0	0	0	0	4	0		
230102	0	447	0	53	331	0	70	0	0	0	0	0	0		
230103	1593	0	0	115	88	0	0	0	0	0	0	0	0		
230104	0	0	0	0	55	0	0	435	0	0	0	2	0		
230105	0	0	0	0	803	0	0	0	0	0	0	1	0		
(continued)															
Tobacco	Sunfl	Beans	Sugarc	wwt/cor	wwt/rap	wwt/ric	wwt/veg	veg/cor	cor/soy	oat/ric	pot/soy	wwt/pot			
26	28	29	7	2_1	2_25	2_20	2_16	16_1	1_3	9_20	18_3	2_18			
0	0	3385	0	2976	207	0	710	0	0	0	0	0			
894	0	1998	0	1825	42	0	0	217	0	0	0	0			
21	10	678	0	593	31	0	0	690	0	0	0	0			
4083	26	4642	1	2121	746	1882	0	0	0	322	78	0			
2134	33	1518	0	1984	909	0	0	312	0	0	0	0			
(continued)															
pot/cor	oat/soy	ve/ve/v	po/v/v	r/r/ve											
18_1	9_3	16_16_16	18_16_16	20_20_16											
0	0	0	627	2993											
0	0	0	218	1263											
0	0	2482	194	203											
0	0	0	0	2659											
0	120	427	328	1897											

文件内容:

项目	内容
Number of cropping systems	各类种植系统总数目
Cropping system name	种植系统名称

Cropping system ID	种植系统标号
--------------------	--------

**Shangrilar\_2.txt** 包括每一格点的标号和各种种植系统的面积（公顷）。每一种种植系统的标号由参与此种植系统的每一种作物的标号组合构成。作物的标号在 DND C 中是固定的，各种作物的名称和标号对应关系列在【第四页：农作物】的作物名单中。

**Shangrilar\_3.txt** （各种作物施化肥量，公斤氮/公顷/季）

File name: Shangrila\_3.txt

Total number of crops

Crop name

Crop ID

Fertilizer application rate, kg N/ha/yr	maize	wheat	soybean	lhay	swheat	nlhay	palm	sug cane	barley	oat	alfalfa	past
41	1	2	3	4	5	6	32	7	8	9	10	12
230101	121	156	47	33	156	75	76	138	78	55	19	0
230102	125	181	53	33	181	75	77	145	79	60	19	0
230103	126	189	55	33	189	75	77	147	79	61	19	0
230104	128	196	56	33	196	75	78	149	80	62	19	0
230105	130	210	60	33	210	75	78	153	80	65	19	0

( continued )

xrice	sorghum	cotton	rye	veget	upric	potato	beet	rice	banana	cassava	peanut	deepric
46	13	14	15	16	24	18	19	20	21	51	23	30
123	68	102	73	142	20	113	120	123	201	81	61	0
133	78	111	76	145	20	119	120	133	210	95	67	0
136	81	113	77	146	20	120	120	136	212	99	69	0
139	84	115	78	146	20	122	120	139	215	104	71	0
145	90	120	80	148	20	125	120	145	220	112	75	0

( continued )

rape	tobacco	millet	sunflw	bean	hops	cover	safflw	berry	flax	trevgrn	nursflw	fruit
25	26	27	28	29	44	47	48	38	49	54	36	40
106	112	46	65	43	125	59	88	93	69	96	160	123
114	106	55	72	49	125	60	88	93	70	102	160	129
116	105	57	74	50	125	60	88	93	70	103	160	131
118	103	60	76	52	125	60	88	93	70	105	160	132
122	100	65	80	55	125	60	88	93	71	108	160	136

( continued )

grape	citrus	manure_N
42	41	100
113	134	50
130	141	50
135	144	50
140	146	100
150	150	75

文件内容：

项目	内容
Total number of crops	各类农作物总数目
Crop name	作物名称
Crop ID	作物标号

**Shangrilar\_3.txt** 包含每格点中每一种作物的化肥用量（公斤氮/公顷/季）。作物的标号与【第四页：农作物】的作物名单一致。

Shangrilar\_4.txt （各格点灌溉面积的百分比）

Percent of crop area irrigated (%)	
230101	55
230102	21
230103	6

Shangrilar\_5.txt （各种作物的播种和收割的日期，儒勒日）

File name: Shangrila\_5.txt

Total number of crops		Crop name		Crop ID							
Planting and harvest dates for crops											
30		Fallow		0		Corn		1		W_wheat	
30								2		Soybean	
230101		121_288		121_288		121_288		3		Oats	
230102		121_288		121_288		121_288		9		Sorghum	
230103		121_288		121_288		121_288					
230104		121_288		121_288		121_288					
230105		121_288		121_288		121_288					
( continued )											
Cotton		14		Potato		18		Beet		19	
121_288		121_288		121_288		121_288		20		Peanut	
121_288		121_288		121_288		121_288		23		Rapeseed	
121_288		121_288		121_288		121_288		25		Tobacco	
121_288		121_288		121_288		121_288					
121_288		121_288		121_288		121_288					
( continued )											
Sunflower		28		Beans		29		7		4	
121_288		121_288		121_288		121_288		2_1		2_25	
121_288		121_288		121_288		121_288		60_176-182_304		60_176-182_304	
121_288		121_288		121_288		121_288		60_176-182_304		60_176-182_304	
121_288		121_288		121_288		121_288		60_176-182_304		60_176-182_304	
121_288		121_288		121_288		121_288		60_176-182_304		60_176-182_304	
121_288		121_288		121_288		121_288		60_176-182_304		60_176-182_304	
( continued )											
veg/cor		cor/soy		oat/ric		pot/soy		wmt/pot		pot/cor	
16_1		1_3		9_20		18_3		2_18		18_1	
60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304	
60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304	
60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304	
60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304	
60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304		60_176-182_304	
( continued )											
ve/ve/v		po/v/v		r/r/v/e							
16_16_16		18_16_16		20_20_16							
5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359	
5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359	
5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359	
5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359		5_125-127_235-237_359	

Shangrilar\_5.txt 包括每格点中每一种植系统中每种作物的播种和收割的日期。每一作物有一对儒勒日分别表明它的播种和收割的日期。如一种种植系统中有 2 或 3 种作物，会有 2 或 3 对日期分别表识这些作物的播种和收割的日期。

Shangrilar\_6.txt （各种种植系统的施肥日期，儒勒日）

Fertilizer application  
dates

30	Fallow	Corn	wheat	Soybean	Oats	Sorghum	Cotton	Potato
30	0	1	6	3	9	13	14	18
230101	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230102	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230103	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230104	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230105	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230106	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230107	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230108	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230109	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230110	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230201	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230301	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230302	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230303	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230304	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230305	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230306	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230307	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230308	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230309	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151
230310	0	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151	121_151

**Shangrilar\_6.txt** 包括每格点中每种种植系统中每一作物的施肥日期。每一作物有两个儒勒日表明它两次施肥的日期。如一种种植系统中有 2 或 3 种作物，会有 2 或 3 对日期分别表示这些作物的施肥日期。

**Shangrilar\_7.txt** （各种种植系统的施有机肥量，公斤氮/公顷/年）

Manure application dates:  
manure-N/ha\_C/N ratio

30	Fallow	Corn	wheat	Soybean	Oats	Sorghum	Cotton	Potato	Beet
30	0	1	6	3	9	13	14	18	19
230101	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230102	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230103	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230104	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230105	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230106	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230107	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230108	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230109	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230110	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230201	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230301	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230302	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230303	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230304	0	30	30	30	30	30	30	30	30

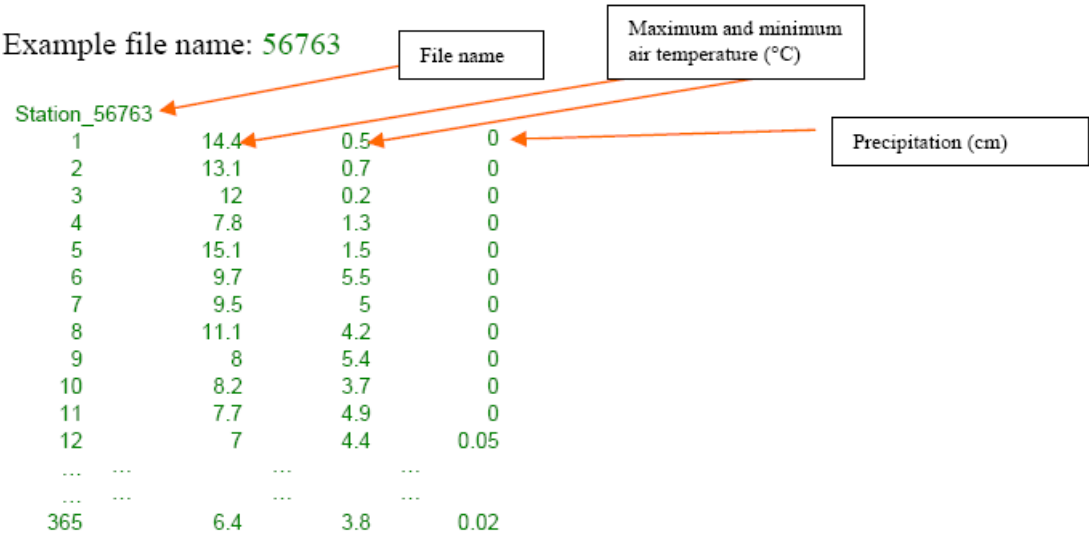
230305	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230306	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230307	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230308	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230309	0	30	30	30	30	30	30	30	30
230310	0	30	30	30	30	30	30	30	30

**Shangrilar\_7.txt** 定义每格点中每种种植系统施有机肥肥量。

进行区域模拟时，DNDC 从 以上 7 个文件中读取每个格点中每一种作物需要的输入数据。区域模拟的空间变异性都体现在这 7 个 GIS 数据文件及气象文件中。

## 2.2 气象数据库

所有气象台站的日气象数据文件储存在 C:\DNDC\Database\Shangrila\Lib\_clim\2000\目录下。2000 表示所有气象文件都是 2000 年的。几个格点可以共享同一个气象台站数据。日气象数据格式如下：



项目	内容
File name	气象台站名称
Maximum temperature	最高气温（摄氏度）
Maximum temperature	最低气温（摄氏度）
Precipitation	降水（厘米）

### 2.3 作物和土壤数据库

文件夹 **Lib\_soil** 和 **Lib\_crop** 中含有土壤和作物通用资料库数据。**Lib\_soil** 和 **Lib\_crop** 位于 **C:\DNDC\Library** 目录下。这些通用数据供点位和区域模拟使用。在区域模拟过程中，**DNDC** 从此数据库中读取所有作物参数。

**Lib\_soil** 中包括 12 种土壤类型的土壤水文数据文件。举例如下：  
文件 5

Soil\_5:  
Loam texture  
0.19 clay\_fraction  
0.451 porosity  
0.042 satu\_conductivity  
0.49 field\_capacity  
0.22 wilting\_point

项目	内容
Texture	土壤质地
Clay_fraction	按重量比例的粘土部分
Porosity	土壤孔隙度
Satu_conductivity	土壤的饱和传导性，米/小时
Field_capacity	田间持水量（WFPS, 即此时水在土壤空隙中的比例）
Wilting_point	萎蔫点（WFPS, 即此时水在土壤空隙中的比例）

**Lib\_crop** 中包括每种作物的默认生理和物候参数文件。文件格式举例如下：文件 1（玉米）

```

1      crop_code
CO     crop_name_1
Corn   crop_name_2
11145  total_biomass_C
0.370000 portion_of_grain
0.380000 portion_of_shoot
0.250000 portion_of_root
59.971802 plant_CN
50.000000 grain_CN_ratio
85.000000 root_CN_ratio
60.000000 shoot_CN_ratio
323.000000 water_requirement
5.000000 max_LAI
2.000000 max_height
2550.000000 TDD
1.000000 N_fixation

```

项目	内容
Crop_code	作物编号
Crop_name_1	作物简称
Crop_name_2	作物名称
total_biomass_C	作物成熟期的碳的最高总生物量（公斤碳/公顷）
portion_of_grain	籽粒在总生物量中所占部分
portion_of_shoot	叶茎在总生物量中所占部分
portion_of_root	根在总生物量中所占部分
plant_CN	整个作物中碳氮比率
grain_CN_ratio	籽粒中碳氮比率
root_CN_ratio	根部碳氮比率
shoot_CN_ratio	叶茎中碳氮比率
water_requirement	作物需要的水量（生产一个单位的生物量的需水量（公斤水/公斤干物）
max_LAI	作物最大叶面积指数
max_height	作物最大高度（米）
TDD	从播种到收割的累积气温（摄氏度）
N_fixation	固氮系数（=作物氮量/从土壤中吸收的氮量）

在 DNDC 的主菜单输入界面，选择【工具】/【作物创造者】可以打开一个作物参数修改工具软件。你可利用此工具去创立一个新作物或永久性改变现存作物的默认参数值（图 23）。

项目	内容
作物编号	作物的顺序编号
作物名称	作物名称
最大籽粒产量	处于最优化的生长条件下作物的籽粒产量，公斤干重/公顷
全株生物量中籽粒比例	作物成熟时籽粒在总生物量中所占比例



全株生物量中茎叶比例	作物成熟时叶和茎在总生物量中所占比例
全株生物量中根比例	作物成熟时根在总生物量中所占比例
籽粒中碳氮比值	作物籽粒中的碳氮含量比例
茎叶中碳氮比值	作物叶茎中的碳氮含量比例
根中碳氮比值	作物根中的碳氮含量比例
固氮指数	豆科作物固氮指数，=作物中总氮量/作物从土壤中吸收的氮量
需水量	生产单位生物量所需的水量（公斤水/公斤 作物干物质）
叶面积指数调整系数	用于调整叶子比重的因子
植株最大高度	植株最大高度，米
生长期积温（TDD）	作物从播种到收获所累积的每日平均大气温度（>0° C）
管束结构指数	湿地作物的管束结构指数
这是多年生植物	点击此项定义此作物为多年生作物

**Crop creator**

选择一个现存作物: 1 Corn

作物编号: 1

作物名称: Corn

最大籽粒产量, 公斤干重/公顷: 4800

全株生物量中籽粒比例: 0.39

全株生物量中茎叶比例: 0.49

全株生物量中根比例: 0.12

籽粒中碳/氮比值: 35

茎叶中碳/氮比值: 50

根中碳/氮比值: 50

固氮指数 (= 作物总氮量 / 作物从土壤吸收氮量): 1

需水量, 公斤水/生产1公斤干物质: 200

叶面积指数调整系数: 5

植株最大高度, 米: 2

生长期积温(TDD), 摄氏度: 2550

管道结构指数 (0-1): 0

☐ 这是一多年生植物

确认左侧参数值

最大生物量, 公斤碳/公顷: 4923.08

最大籽粒产量, 公斤碳/公顷: 1920

最大茎叶产量, 公斤碳/公顷: 2412.31

最大根产量, 公斤碳/公顷: 590.769

整个植株碳/氮比值: 42.8397

作物需氮量, 公斤氮/公顷: 114.919

来自土壤的氮量, 公斤氮/公顷: 114.919

来自大气的氮量, 公斤氮/公顷: 0

保存 取消

图 23. 浏览与修改作物的生理与物候参数

修改了上述的参数后，可点击【保存】按钮，修改过的参数就会在相应作物文件中永久保存下来。

## 2.4. 区域模拟的初始化

当 GIS 和气象资料库文件已准备好并存在正确的目录中后，就可开始区域模拟了。启动时，点击在主菜单上的【区域】/【输入】按钮，调出一个新页，在此页上可以选择目标区域和有关输入信息（图 24）。

Regional Input Parameters

区域模拟依靠事先建立的区域数据库。数据库的内容、格式及建立方法在DNDC使用手册中详述，请参阅。DNDC使用手册在<http://dn/dc.sr.unh.edu>处可获得。也可参考在DNDC目录下存放的区域数据库实例“香格里拉”（Shangrila）。

开始一个区域模拟，你需要从所选区域数据库的GIS文件中调出任一文件。例如，点击 C:\DNDC\Database\Shangrila\GIS\Shangrila\_1.txt 去告诉DNDC你要模拟“香格里拉”这个区域。

区域选择

区域名称

本次模拟名称

模拟年数

1

起始年份（如2005）

2000

本次模拟关心的主要问题

是否计算土壤数据引进的不确定性

是

起始格点的序号

1

数据库中格点总数

0

本次待模拟格点数

0

是否记录日结果

否

区域数据库格式

香格里拉格式

全球格式

定义或修改每年气象与管理参数

1

11

21

31

41

51

61

71

81

91

2

12

22

32

42

52

62

72

82

92

3

13

23

33

43

53

63

73

83

93

4

14

24

34

44

54

64

74

84

94

5

15

25

35

45

55

65

75

85

95

6

16

26

36

46

56

66

76

86

96

7

17

27

37

47

57

67

77

87

97

8

18

28

38

48

58

68

78

88

98

9

19

29

39

49

59

69

79

89

99

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100

数据获取

从一区域输入文件读取输入数据

将已输入数据存入一文件

OK

取消

图 24. 区域选择和模拟情景设置

用“香格里拉”作为例子来说明怎样选择一个区域。点击【区域选择】按钮；进入 C:\DNDC\Database\Shangrila\GIS 目录，你将看到那儿有 7 个香格里拉 GIS 文件；你可从中任选一个。从你的选择中，DNDC 得知你要模拟香格里拉区域。这时当你回到主页并点击【区域名称】对话框时，“Shangrila”会自动出现，这表明目标区域已选定。此时，你需进一步输入几个参数来使区域模拟具体化。

项目	内容
区域名称	模拟目标区域的名称，是一个无空格字符串
本次模拟名称	给本次模拟起一个名字，必须是一个无空格字符串。这个名字将用来作为结果文件的目录名。
模拟年数	区域模拟的年数
起始年份	模拟的第一年年号，如 2005，该年号应与气象资料数据一致。
本次模拟关心的主要问题	在 SOC、CO2、CH4、N2O、NH3、N 淋溶间作一选择，DNDC

	将由此确定如何使用土壤数据，以在模拟过程中控制不确定性。
是否计算土壤数据引进的不确定性	如果选择“否”，DNDC 将在在模拟过程中不计算由土壤数据引进的不确定性。
起始格点的序号	待模拟的第一个格点的顺序编号；是一个整数。定义此数可以让你跳过你不想模拟的格点。
数据库中格点总数	数据库中全部格点的总数
本次模拟点数	本次模拟中将模拟的格点数
是否记录日结果	如果选择“是”，DNDC 将在在模拟过程中记录各格点的每日结果。
区域数据格式	DNDC 可接受两种区域数据格式：香格里拉或全球数据格式。香格里拉格式应对于大部分的区域都适合。

当上表中各参数都设定后，点击【定义或修改每年气象与管理参数】键去打开一个新页（图 25）。此页为你提供一个机会去对一个具体年份修改其输入参数。在此设定的修改值将对整个区域有效。

Alternative climate/managemnt conditions

年

复制上年数据

大气 CO2 浓度 [ppm]

气温增减度数 (摄氏度)

大气降水增加倍数

秸秆还田比例 (0-1)

化肥用量增加倍数

有机肥用量增加倍数

作物产量增加倍数

自动灌溉指数 (0-1)

耕耘：

常规

☒

减耕

☐

免耕

☐

中耕晒田次数

低限淹灌

☐

使用硝化作用抑制剂

☐

使用自动施肥

☐

使用缓释肥料 (定义有效日数)

土壤微生物活性修正系数 (0-1)

OK

取消

图 25. 为区域模拟系统地修改气象和管理参数

项目	内容
年	修正对象年份
大气 CO <sub>2</sub> 浓度	默认值为 350 ppm。你可修改为一个新数字，它将影响被模拟的作物生长和产量以及其它相关联的地球生物化学过程。
气温增减度数	默认值为 0。你可修改为一个正数或负数，它将系统地改变由原来气象文件所提供的每日温度。
大气降水增加倍数	默认值为 1。你可修改为一个新数字（例如，0.5 或 1.5），用它系统地改变由原来气象文件所提供的每日降雨量。
秸秆还田比例	默认值为 0.8。它说明地面上作物残留秸秆的 80% 在收割后都会埋入土中。你可修改为一个小于或等于 1 的新数字。
化肥用量增加倍数	默认值为 1。你可修改为一个新数，用它系统地改变数据库所提供的化肥用量。
有机肥用量增加倍数	默认值为 1。你可修改为一个新数，用它系统地改变数据库所提供的有机肥用量。
作物产量增加倍数	默认值为 1。你可修改为一个新数，用它系统地改变数据库所提供的所有作物的最大产量值。
自动灌溉指数	默认值为 1，表示一种作物如果在数据库中被定义在灌溉农田，在旱情发生时，该作物将获得 100% 的水分补给。你可修改为一个新数，用它系统地改变所有灌溉作物在旱情发生时获水的增加或减少。
耕耘	默认耕作方法是传统深耕。你可改为减耕或免耕。
中耕晒田次数	默认值为 0，即无中耕晒田。你可以改为 1，2，或 3 次，即在一水稻生长季实施一、二或三次中耕晒田。
低限淹灌	选择此项将使所有水稻田采用低限淹灌方法。这是在水稻生产中节约用水的一种新方法。
使用硝化作用拟制剂	选择此项将在所有农田施用硝化作用拟制剂
使用自动施肥	选择此项将在所有农田采用自动施肥方法
使用缓释肥料	默认值为 1，表示化肥内的氮一日之内全部转入土壤。如你使用的化肥是缓释肥，有效日期在此定义。
土壤微生物活性修正系数	默认值为 1，表示是正常土壤。如果土壤受毒物污染，此值应减小。

上述参数是对各年分别设定的。点击【复制上年数据】键可使你复制上一年的整套参数值。

当完成区域数据输入程序后，点击【OK】按钮，使所有输入信息转入到计算机的内存中。此时，区域模拟已准备就绪。

## 2.5. 实施区域模拟

完成区域数据输入程序后，点击主菜单上的**【区域】/【模拟】**按钮，DNDC即开始区域模拟。在区域模拟过程中，DNDC对每一格点中的每一种植系统运转4次，其组合为：（1）最敏感土壤参数最大值+灌溉，（2）最敏感土壤参数最小值+灌溉，（3）最敏感土壤参数最大值+非灌溉，（4）最敏感土壤参数最小值+非灌溉。DNDC将逐年、逐种植系统和逐格点地进行模拟，直到数据库的末端。区域模拟产生4个结果文件，用来记录碳、氮和水的年动态。这4个文件产生于上述4种不同的土壤-灌溉组合情境。这四个文件储存在C:\DNDC\Result\Record\Region\目录下。所有的结果文件都是文本格式，可用文字编辑器或计算、制图软件(如 Excel)或自编程序再加工。

## 四．模拟结果数据

### 1. 点位模拟结果

点位模拟时，每天土壤气候、土壤碳氮的库和流、作物生长以及农田管理都自动记录在 5 类文件中，名字如下：

```
Day_FieldCrop_year#.csv,  
Day_FieldManagement_year#.csv,  
Day_SoilClimate_year#.csv,  
Day_SoilC_year#.csv,  
Day_SoilN_year#.csv,  
Day_SoilWater_year#.csv.
```

其文件内容如下：

每日作物生长文件：Day\_FieldCrop\_year#.csv

项目	单位*	解释
Total		所有作物
Crop 1		作物 1
Crop 2		作物 2
Crop 3		作物 3
LeafC	kgC/ha/d	叶碳
StemC	kgC/ha	茎碳
RootC	kgC/ha	根碳
GrainC	kgC/ha	籽粒碳
TDD	degree_C	积温
GrowthIndex		生长指数
Water_stress		水胁迫
N_demand	kgN/ha/d	需氮量
N_from_soil	kgN/ha/d	从土壤吸收的氮
N_from_air_NH3	kgN/ha/d	从空气吸收的氨氮（干沉降）
N_fixation	kgN/ha/d	固氮作用吸收的氮
N_stress		氮胁迫
Day_N_increase	kgN/ha/d	作物氮日增量
TotalCropN	kgN/ha	作物氮含量
LAI		叶面积指数
CropDailyGrowth	kgC/ha/d	作物碳日增量
*C-碳，N-氮，kg-公斤，ha-公顷，d-日		

每日农田管理文件: [Day\\_FieldManagement\\_year#.csv](#):

项目	单位*	解释
Irrigation	mm	灌溉
Fertilizer	kgN/ha	施化肥
Manure	kgN/ha	施有机肥
Grass_cut	kgC/ha	割草
*mm-毫米		

每日土壤气候文件: [Day\\_SoilClimate\\_year#.csv](#):

项目	单位*	解释
Soil_temperature: 1, 5, 19, 20, 30, 40, 50	° C	在 1, 5, 19, 20, 30, 40, 50 厘米处土壤温度
Soil_moisture: 1, 5, 19, 20, 30, 40, 50	wfps	在 1, 5, 19, 20, 30, 40, 50 厘米处土壤湿度
Soil_oxygen: 1, 5, 19, 20, 30, 40, 50	kgO <sub>2</sub> /ha	在 1, 5, 19, 20, 30, 40, 50 厘米处土壤氧气浓度
Soil_Eh: 1, 5, 19, 20, 30, 40, 50	kgC/ha	在 1, 5, 19, 20, 30, 40, 50 厘米处土壤氧化还原电位
WT	m	地下水位 (正值表示水位高于土面; 正值表示水位低于土面)
Ice:10, 20, 30	wfps	在 1, 20, 30 厘米处土壤冰量
Ice	mm	整个土壤剖面冰含量
WaterPool	mm	土壤剖面之下所蓄植物可用水量
*wfps-相对湿度, m-米, O <sub>2</sub> -氧气		

每日土壤碳文件: [Day\\_SoilC\\_year\\_#.csv](#):

项目	单位*	解释
Very labile litter	kg C/ha	土壤中极易分解凋落物
Labile litter	kg C/ha	土壤中易分解凋落物
Resistant litter	kg C/ha	土壤中难分解凋落物
Microbe	kg C/ha	土壤中微生物
Humads	kg C/ha	土壤中活性腐殖质
Humus	kg C/ha	土壤中惰性腐殖质
CharkC	kg C/ha	土壤中木炭
DOC	kg C/ha	土壤中溶解性有机碳
Photosynthesis	kg C/ha/d	作物光和作用
Shoot-respiration	kg C/ha/d	作物茎叶呼吸作用
Root-respiration	kg C/ha/d	作物根呼吸作用
Soil-heterotrophic-respiration	kg C/ha/d	土壤中微生物异养呼吸作用

Eco-respiration	kg C/ha/d	生态系统呼吸量
NEE	kg C/ha/d	大气与生态系统碳净交换量
NPP	kg C/ha/d	作物生产量
Stub	kg C/ha	农田留茬量
CH4-prod.	kg C/ha/d	土壤甲烷产生量
CH4-oxid.	kg C/ha/d	土壤甲烷氧化量
CH4-flux	kg C/ha/d	土壤甲烷产生净排放量
CH4-pool	kg C/ha	土壤剖面甲烷储存量
SOC-leach	kg C/ha/d	土壤有机质淋溶量

### 每日土壤氮文件: [Day\\_SoilN\\_year#.csv](#):

项目	单位*	解释
N uptake	kg N/ha/d	作物每日氮吸收量
N pool:		土壤可给态氮库
- Urea: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50cm	kg N/ha	0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 厘米土层的尿素含量
- NH4: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50cm	kg N/ha	0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 厘米土层的铵态氮含量
- NO3: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50cm	kg N/ha	0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 厘米土层的硝态氮含量
- exchangeable-NH4: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50cm	kg N/ha	0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 厘米土层的吸附可交换态氮含量
NH3	kg N/ha	土壤氨气含量
N gas flux		土壤含氮气体排放
- N2O	kg N/ha/d	氧化亚氮排放
- NO	kg N/ha/d	一氧化氮排放
- N2	kg N/ha/d	氮气排放
- Soil-NH3	kg N/ha/d	氨气排放
N-leach	kg N/ha/d	硝酸盐淋溶
Gross N mineralization	kg N/ha/d	土壤有机氮毛矿化率
N assimilation	kg N/ha/d	无机氮被土壤微生物同化速率
Ice_DOC	kg C/ha/d	土壤冰中 DOC 含量
Ice_N	kg N/ha/d	土壤冰中 N 含量
Ice_N2O	kg N/ha/d	土壤冰中氧化亚氮含量
Ice_N2	kg N/ha/d	土壤冰中氮气含量
nitrification	kg N/ha/d	硝化速率
denitrification	kg N/ha/d	反硝化速率



N_fixation	kg N/ha/d	作物固氮速率
Litter_N	kg N/ha/d	凋落物还田氮量

每日土壤水分文件: **Day\_SoilWater\_year#.csv:**

项目	单位*	解释
IniSoilWater	mm/d	每日起始时土壤含水量
EndSoilWater	mm/d	每日终止时土壤含水量
FreeWater	mm/d	土壤含水量
SoilIce	mm/d	土壤含冰量
IniDeepWater	mm/d	土壤剖面之下所蓄植物可用水量起始值
EndDeepWater	mm/d	土壤剖面之下所蓄植物可用水量终止值
Precipitation	mm/d	大气降水
Irrigation	mm/d	灌溉水量
Ponding	mm	地面积水
SnowPack	mm/d	地面积雪
Evaporation	mm/d	土壤蒸发
Transpiration	mm/d	植物蒸腾
SurfaceWaterEV	mm/d	地面积水蒸发
Leaching	mm/d	地下水渗漏
Runoff	mm/d	地表径流
dSoilWater	mm/d	每日土壤含水量变化
DayInFlow	mm/d	每日土壤输入水量
DayOutFlow	mm/d	每日土壤输出水量
Error	mm/d	每日土壤水量平衡误差

在模拟每年结束时，DNDC 自动编写一个年度报告，综述全年作物产量和土壤碳氮动态。此文件为评价被模拟的农田生态系统提供简明扼要的信息，是 DNDC 产生的最重要文件。该报告内容如下：

项目	单位*	解释
ANNUAL REPORT		年度报告
Site		点位名称
Year		年份
SOIL SECTION		土壤部分
SOM pools	kg C, N/ha	土壤有机质库
Day 1		第 1 天
Day 365		第 365 天
Litter	kg C, N/ha	土壤凋落物
Humads	kg C, N/ha	活性腐殖质（包括微生物）
Humus	kg C, N/ha	惰性腐殖质
Deep_DOC	kg C/ha	淋溶到土壤剖面之下的 DOC
Inorganic N pools	kg N/ha	土壤无机氮库
NO3-	kg N/ha	硝态氮
NH4+	kg N/ha	铵态氮
NH3(w)	kg N/ha	土壤水中氨

Urea	kg N/ha	尿素
NO(w)	kg N/ha	土壤水中氮氧化合物
clay-NH4	kg N/ha	吸附态铵氮
N-gases	kg N/ha	土壤中含氮气体
Input flux		输入土壤的碳、氮流
Manure	kg C, N/ha	有机肥
Shoot litter	kg C, N/ha	植物地上凋落物
Root litter	kg C, N/ha	根凋落物
Rain-N deposit	kg N/ha	湿沉降氮
Irrigation N input	kg N/ha	灌溉水带入氮
Fertilizer-N	kg N/ha	化肥氮
Soil N fixation	kg N/ha	植物固氮作用带入氮
NH3 deposition	kg N/ha	干沉降（植物叶面对氨气吸收）
Output flux		由土壤输出的碳、氮流
Soil-CO2 emission	kg C/ha	土壤异养呼吸
CH4 emission	kg C/ha	甲烷排放
DOC leached	kg C/ha	DOC 淋溶
Crop N uptake from soil	kg C/ha	植物从土壤吸取氮
N runoff	kg N/ha	地表径流氮损失
NO3- leaching	kg N/ha	硝酸盐淋溶
NH3 volatilization	kg N/ha	氨气挥发
N2O	kg N/ha	氧化亚氮排放
NO	kg N/ha	一氧化氮排放
N2	kg N/ha	氮气排放
Mineralization		土壤矿化作用
Soil C/N ratio		土壤碳氮比值
SOC profile		土壤 SOC 剖面, 0-10, 10-20, 20-30 厘米分记
CROP SECTION		作物部分
Cropping season		种植季
Crop name		作物名称
Planting date		播种日期
Growing days		生长天数
-- Growing season TDD	°C	-- 生长积温
-- Water demand (mm)		-- 需水量
-- Water stress		-- 水胁迫
-- Crop N demand	kg N/ha	-- 需氮量
-- Crop N taken from soil	kg N/ha	-- 作物从土壤吸收的氮
-- Crop N from NH3 deposit	kg N/ha	-- 作物通过叶面氨气沉降吸收的氮
-- Crop N fixed from atmo.	kg N/ha	-- 作物通过固氮作用从大气吸收的氮
-- Nitrogen stress		-- 氮胁迫
Crop biomass:		作物生物量
Crop N	kg N/ha	作物全氮量
Crop C	kg C/ha	作物全碳量
-- Grain C	kg C/ha	-- 籽粒碳
-- Leaf+stem C	kg C/ha	-- 茎叶碳
-- Root C	kg C/ha	-- 根碳

Photosynthesis	kg C/ha	光合作用
Shoot respiration	kg C/ha	茎叶呼吸
Root respiration	kg C/ha	根呼吸
Crop NPP	kg C/ha	作物生物生产量
NEE	kg C/ha	大气-生态系统碳净交换量
Stubble	kg C/ha	田间留茬量
Fruit cut	kg C/ha	果实采摘
Leaf cut	kg C/ha	叶采摘
Stem cut	kg C/ha	茎采摘
Root cut	kg C/ha	根采摘
Grazed biomass	kg C/ha	放牧牲畜取食量
Livestock demand for grass biomass	kg C/ha	放牧牲畜需食量
WATER SECTION		土壤水部分
Precipitation	mm	降水
Irrigation	mm	灌溉
PET	mm	潜在蒸散量
Transpiration	mm	作物蒸腾量
Soil evaporation	mm	土壤蒸发量
Ponding water evaporation	mm	地面积水蒸发量
Run off	mm	地表径流
Leaching	mm	淋溶
Change in soil water	mm	土壤含水量变化
Mean wind speed	m/second	平均风速(米/秒)

日和年的模拟结果数据文件都记录在 C:\DNDC\Result\Record\Site 目录下。所有文件都是简单的文本格式，可用文字编辑器、计算软件进行再加工。

如果进行多年模拟，DNDC 会将一些重要结果数据记录在一个多年结果文件中，以便使用者对多年模拟结果进行迅速检查。多年结果文件名称是 Multi\_year\_summary.csv，存在 C:\DNDC\Result\Record\Site 目录下，其内容如下：

项目	单位*	解释
Yield_GrainC1	kgC/ha/y	第一作物籽粒产量
Yield_LeafStemC1	kgC/ha/y	第一作物茎叶产量
Yield_RootC1	kgC/ha/y	第一作物根产量
Yield_GrainC2	kgC/ha/y	第二作物籽粒产量
Yield_LeafStemC2	kgC/ha/y	第二作物茎叶产量
Yield_RootC2	kgC/ha/y	第二作物根产量
Yield_GrainC3	kgC/ha/y	第三作物籽粒产量
Yield_LeafStemC3	kgC/ha/y	第三作物茎叶产量

Yield_RootC3	kgC/ha/y	第三作物根产量
SOC 0-10cm	kgC/kg	0-10 厘米 SOC 含量, 单位: 公斤碳/公斤土壤
SOC 0-20cm	kgC/kg	10-20 厘米 SOC 含量, 单位: 公斤碳/公斤土壤
SOC 0-30cm	kgC/kg	20-30 厘米 SOC 含量, 单位: 公斤碳/公斤土壤
SOC 0-10cm	kgC/ha	0-10 厘米 SOC 含量, 单位: 公斤碳/公顷
SOC 0-20cm	kgC/ha	10-20 厘米 SOC 含量, 单位: 公斤碳/公顷
SOC 0-30cm	kgC/ha	20-30 厘米 SOC 含量, 单位: 公斤碳/公顷
Ini_SOC	kgC/ha	年初 0-50 厘米土壤剖面含碳量
End_SOC	kgC/ha	年终 0-50 厘米土壤剖面含碳量
dSOC	kgC/ha/y	土壤剖面 SOC 年变化量
LitterC_input	kgC/ha/y	地上凋落物输入量
RootC_input	kgC/ha/y	根输入量
ManureC_input	kgC/ha/y	有机肥输入量
Soil-CO2	kgC/ha/y	土壤 CO2 排放量
CH4	kgC/ha/y	土壤甲烷排放量
Ini_SON	kgN/ha	年初 0-50 厘米土壤剖面含有机氮量
Ini_SIN	kgN/ha	年初 0-50 厘米土壤剖面含无机氮量
End_SON	kgN/ha	年终 0-50 厘米土壤剖面含有机氮量
End_SIN	kgN/ha	年终 0-50 厘米土壤剖面含无机氮量
dSN	kgN/ha/y	土壤剖面总氮年变化量
Atmo_N_input	kgN/ha/y	大气湿沉降氮量
Fertilizer_N_input	kgN/ha/y	化肥氮输入量
Manure_N_input	kgN/ha/y	有机肥氮输入量
Litter_N_input	kgN/ha/y	凋落物氮输入量
N_fixation	kgN/ha/y	作物固氮作用
Crop_N_uptake	kgN/ha/y	作物氮吸收
N_leach	kgN/ha/y	氮淋溶
N_runoff	kgN/ha/y	地表径流氮损失
N2O_flux	kgN/ha/y	氧化亚氮排放
NO_flux	kgN/ha/y	一氧化氮排放
N2_flux	kgN/ha/y	氮气排放
NH3_flux	kgN/ha/y	氨气挥发
exchangeable-NH4	kgN/ha	年终土壤可交换态氨氮量
PET	mm	潜在蒸散量
Transpiration	mm	作物蒸腾量
Evaporation	mm	土壤蒸发量
WaterLeach	mm	水淋溶
Runoff	mm	地表径流
Irrigation	mm	灌溉水量
Precipitation	mm	降水
MeanT	degree	年平均气温
WindSpeed	m/s	年平均风速
ColdStress		年平均冷冻胁迫
WaterStress		年平均水胁迫
N_Stress		年平均氮胁迫

## 2. 区域模拟结果

区域模拟的结果都存在 C:\DNDC\Result\Record\Region\目录下，共有四个文件中。这些文件包含对每一格点内的每一种种植系统的碳、氮和水的模拟结果。这四个文件包含同样的内容，但产生的情景不同（详见前述）。每个文件所使用的情景反映在它们的名字上：

- Shangrila\_FullIrrig\_max\_rate\_1.txt;
- Shangrila\_FullIrrig\_min\_rate\_1.txt;
- Shangrila\_ZeroIrrig\_max\_rate\_1.txt;
- Shangrila\_FullIrrig\_min\_rate\_1.txt.

使用者对这四个文件综合处理，可了解土壤输入数据不确定性和灌溉对作物产量和所有土壤生物地球化学过程的影响，从而正确导出区域模拟结果。区域模拟结果文件内容如下：

项目	单位*	解释
Grid_ID		格点编号
System_ID		种植系统编号
SystemName		种植系统名称
Area	ha	种植系统面积
Year		年
SOC0-10cm	kgC/ha	0-10 厘米土壤 SOC 含量
SOC10-20cm	kgC/ha	10-20 厘米土壤 SOC 含量
SOC20-30cm	kgC/ha	20-30 厘米土壤 SOC 含量
SOC30-40cm	kgC/ha	30-40 厘米土壤 SOC 含量
SOC40-50cm	kgC/ha	40-50 厘米土壤 SOC 含量
dSOC	kgC/ha	年度 SOC 储量变化
ManureC	kgC/ha	有机肥输入碳
LitterC	kgC/ha	凋落物输入碳
GrainC	kgC/ha	作物籽粒产量（公斤碳/公顷）
ShootC	kgC/ha	作物茎叶产量（公斤碳/公顷）
RootC	kgC/ha	作物根产量（公斤碳/公顷）
CH4	kgC/ha	甲烷年排放量
N2O	kgN/ha	氧化亚氮年排放量
NO	kgN/ha	一氧化氮年排放量
N2	kgN/ha	氮气年排放量
NH3	kgN/ha	氨气年排放量
UptakeN	kgN/ha	全年作物吸收氮量
LeachN	kgN/ha	全年氮淋溶丢失量

DepositN	kgN/ha	全年大气氮沉降量
FixedN	kgN/ha	全年作物固氮量
Miner_N	kgN/ha	全年土壤矿化氮量
Fert_N	kgN/ha	全年化肥氮量
ManureN	kgN/ha	全年有机肥氮量
dSON	kgN/ha	土壤有机氮年变化量
dSIN	kgN/ha	土壤无机氮年变化量
H2Otran	mm	年作物蒸腾水量
H2Oevap	mm	年土壤蒸发水量
H2Orunof	mm	年地表径流量
H2Oleach	mm	年地下淋溶水量
H2Oirri	mm	年灌溉水量
H2Oprec	mm	年降水量
dSoilH2O	mm	年土壤储水量变化
CountryID		国家编号（仅对全球模拟有用）

利用文件中所提供的数据，通过模拟后的再计算，使用者可以获得种植系统、格点或整个区域的碳、氮、水分的动态变化。这些模拟后的计算可利用账单软件（如 Excel）或自编程序来完成。

对区域模拟日结果感兴趣的使用者,可在模拟前，点击区域输入界面上的【是否记录日结果】选项(图24)。区域模拟的日文件记录内容包括每日作物生物量、SOC贮量变化、蒸发、蒸腾、灌溉水量、淋溶水流、硝酸盐淋溶丢失和CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub> 及 NH<sub>3</sub>的排放。日文件储存在\DNDC\Result\Record\Region\目录下。可以想象，如果你的区域包括许多格点，记录的日数据的量是会很大的。

## 五. 不确定性分析

模型的模拟结果带有不确定性。不确定性的来源可能是模型科学结构的不完善，也可能是输入数据的不准确。一个模型由于科学基础或算法缺陷引入的不确定性，可通过比较模拟结果与实地观测或实验数来发现。然而，即使对一个经过充分验证的模型，模拟时仍会出现不确定性；这在一定程度上与输入信息的不完善有关。不确定性是不可避免的；但我们必须要知道不确定性的范围有多大。以经典的蒙特卡洛分析方法为基础，DNDC提供一个工具对点位及区域模拟中的不确定性进行定量化。



图26. 启动不确定性分析

点击在主菜单上方的**【不确定性分析】**选项，你会看到两个选择：点位模式和区域模式。它们分别用于模式和区域模拟的不确定性分析（图26）。

选择**【点位模式】** / **【选择待测项目】**，我们会看到如下的内容提示（图27）：

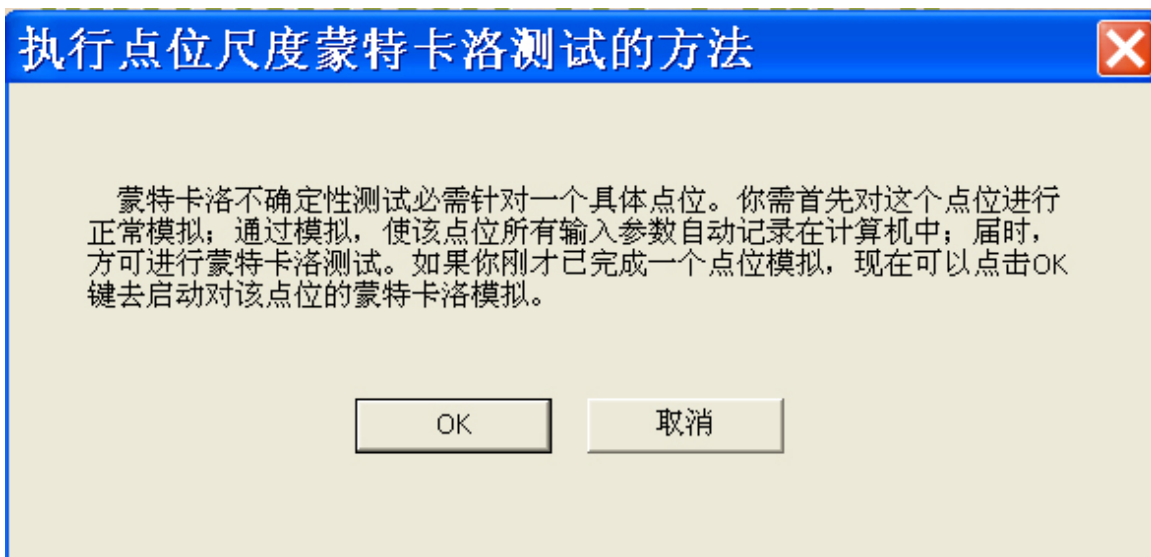


图27. 点位尺度蒙特卡罗方法使用说明

该提示要求先对待测点位进行一次正常模拟，使所有输入参数进入计算机；然后使用者可选择待测试的项目，实施蒙特卡洛模拟。如果你已照此做好，请点【OK】继续。

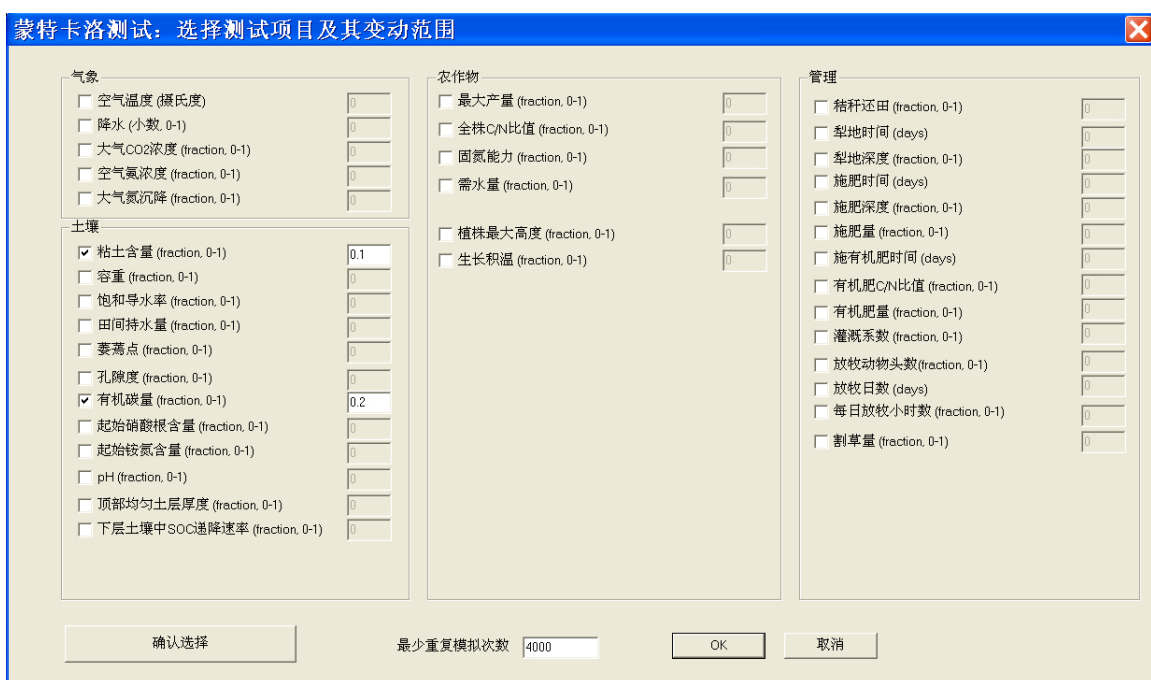


图28. 不确定性测试输入项目的选择

在这一新页上, 你会看到一系列输入项目, 包括气象、土壤、农作物和管理 (图28)。你可选择一项或多项来检查它们的误差对模拟结



果的影响；DNDC在此分析中记录的模拟结果包括土壤有机碳含量年度变化(dSOC)及甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)、一氧化氮(NO)、氮气(N<sub>2</sub>)、氨(NH<sub>3</sub>)和硝酸盐淋溶的年排放。对于选定的输入项目，你要事先定义该项目的误差范围；该范围用一小数表示。如键入的误差值是0.2，即表示该输入项目的误差在其已输入值的±20%范围波动。当输入项目选定后, 点击【确认选择】；在【最少模拟重复次数】处会看到对该选择实施蒙特卡洛模拟的最小模拟次数，即最小样本。总的来讲, 样本越大, 模拟结果频率分布曲线越平滑。在点击【OK】后，DNDC即开始蒙特卡洛模拟。在模拟中，每一所选输入项目的波动区间被等分为50个数段, 这些数段会被随机地选出一个，并与其它项目组合，去完成一次DNDC模拟。DNDC规定的最小重复模拟次数是4000次。如果检查的输入项目增多, 样本大小将以指数增加。

蒙特卡洛模拟完成后，在\DNDC\Result\Record\MonteCarlo 处会生成一个文件记录模拟结果。其文件内容包括：

项目	单位	解释
No.		模拟顺序编号
Year		模拟年序号
dSOC	kgC/ha	土壤 SOC 年变化
CH <sub>4</sub>	kgC/ha	土壤甲烷年排放量
N <sub>2</sub> O	kgN/ha	土壤氧化亚氮年排放量
NO	kgN/ha	土壤一氧化氮年排放量
N <sub>2</sub>	kgN/ha	土壤氮气年排放量
NH <sub>3</sub>	kgN/ha	土壤氨气年排放量
N_leaching	kgN/ha	土壤硝酸盐淋溶年排放量
Dens		待测输入项目 1: 土壤容重
SOC		待测输入项目 2: 土壤 SOC 含量
None		待测输入项目 3: 未选
None		待测输入项目 4: 未选
None		待测输入项目 5: 未选

在上表的例子中，待测的输入参数是土壤容重(Dens)和土壤有机碳(SOC)含量。

蒙特卡洛测试也可利用区域数据库对具体一个格点实施。在主菜单上选择【不确定性分析】/【区域模式】/【选一格点】，你会看到一个新页（图 29）。我们用香格里拉数据库为例子，来选择一个格点进行蒙特卡洛分析。

Monte Carlo Selection

选择一个GIS文件

D:\DND\CDatabase\Shangrila\GIS\Shangrila\_1.txt

年号

2000

选择一个格点

230102 S\_2

区域名称

Shangrila

格点编号

230102

格点名称

S\_2

气象台站编

56763

找到气象文件

D:\DND\CDatabase\Shangrila\Lib\_clim\2000\56763

土壤性质

容重

粘土含量

SOC

pH

最大值

1.32

0.05

0.014

7

最小值

1.15

0.01

0.01

6

选择一个种植系统

Corn (447 ha)

作物

1

maize

None

None

OK

化肥施用量

125

0

0

取消

种植日期

121

0

0

收获日期

288

0

0

图 29. 选择区域格点及种植系统进行不确定性测试

在此页上, 点击【**选择一个 GIS 文件**】, 从现存的区域数据库中选择一个 GIS 文件(如 Shangrila\_1.txt)。所选年号应与气象数据一致。点击【**选择一个格点**】, 从已选区域中选择一个格点。一旦选好, 区域名称、格点编号、格点名称及土壤性质都会自动显示出来。此时, 点击【**找出气象文件**】去调出该格点要求的气象数据文件。点击【**选择一个种植系统**】, 从该格点的种植系统中选出一个作为测试对象; 此时, 待模拟的种植系统的名称及化肥、播种日期和收割日期自动显示出来。使用者可对这些默认值进行修改。在一切选好后, 点击【**OK**】确认你的选择; 一个新页出现。点击【**数据**】去浏览所选格点的土壤性质及分段。默认的样本大小为 4000, 使用者可对此修改(图 30)。点击此页【**OK**】会自动开始蒙特卡洛模拟。

蒙特卡洛不确定性分析

数据

OK

取消

SOC	0.0070 – 0.0140: 0.0070   0.0080   0.0090   0.0100   0.0110   0.0120   0.0130   0.0140
粘土	0.5000 – 0.6000: 0.5000   0.5143   0.5286   0.5429   0.5571   0.5714   0.5857   0.6000
容重	1.1500 – 1.3200: 1.1500   1.1743   1.1986   1.2229   1.2471   1.2714   1.2957   1.3200
pH	5.0000 – 6.0000: 5.0000   5.1429   5.2857   5.4286   5.5714   5.7143   5.8571   6.0000
样本	4000

图 30. 蒙特卡洛测试样本的确定

由于蒙特卡洛分析要求重复模拟运转次数很大, 这种方法只适用于点位尺度或区域单一格点。对于区域尺度模拟, 可用最敏感因子 (Most Sensitive Factor) 方法定量不确定性 (详见 Li, 2007)。最敏感因子方法已被 DNDC 用户广泛用来进行区域模拟的不确定性分析。在此方法中, 土壤性质的空间异质性被认为是区域模拟结果不确定性的主要来源。在区域模拟过程中, DNDC 对每一个格点进行两次模拟, 分别使用最敏感土壤因子的最大值和最小值。最敏感土壤因子的选定与该模拟所关心的问题有关。例如, 如果主要关心问题是  $\text{N}_2\text{O}$  排放或 SOC 年度变化, 那么最敏感的土壤因子就是起始的 SOC 含量; 如果主要关心问题是  $\text{NH}_3$  排放, 那么最敏感的因子就是土壤 pH 值。DNDC 对每一个格点的两次模拟会产生两个结果 (如两个  $\text{N}_2\text{O}$  排放量), 这两个结果值构成一个区间; 此区间范围通常足够宽阔, 以较高机率将 “真值” 包括进去。这种最敏感因子方法和蒙特卡洛分析方法比较, 节约时间, 同时产生统计学上可以接受的结果。

## 六. 实例分析

在输入参数驱动下，DNDC 通过对作物生长、土壤气候和土壤地球生物化学一系列过程模拟，达到预测土壤固碳作用、微量气体释放和硝酸盐淋溶作用的目的。被模拟的各种过程之间有显而易见的相依关系。如作物生长及气象条件决定了土壤温度和湿度；作物对营养物的吸收决定了土壤的营养剖面；当作物枯枝败叶归还土壤时，土壤碳氮的动态将被改变；当土壤温度、水分、氧化还原电势和营养剖面改变时，土壤中微生物的活动也相应变化，由此改变一系列生物地球化学反应，其中包括分解作用、硝化作用、反硝化作用、发酵作用等。所以，在模拟上游过程（如作物生长中所发生的任何偏差都必然会导致下游过程（如  $\text{N}_2\text{O}$  排放）模拟结果的偏移。一个成功的模拟需要建立在对所有主要过程正确模拟的基础之上。输入参数的正确使用和调试，对实施成功模拟至关重要。在此章节中，我们通过 5 个实例来说明如何实施参数输入及结果检查。在这 5 个例子中，模拟的主要对象过程涵盖了作物生长、土壤固碳作用和微量气体释放。每一实例的内容包括点位描述、参数输入、DNDC 模拟和简评。在简评中讨论了每例模拟的关键问题。

### 实例 1：美国爱荷华州玉米生长

**点位描述：**1997 年新罕布什尔大学的李长生（Changsheng Li）和他的同事们在美国爱荷华州的 Muscatine 镇选了一块玉米地（ $41^\circ 33' \text{N}$ ,  $90^\circ 59' \text{W}$ ）进行农田实验，其目的是对作物生长动态和产量进行实地观测。每周测量一次作物生物量及其在籽粒、茎叶和根的分配。作物样品的干重、碳和氮的含量由定量分析确定。1997 年的气象数据从当地的气象站（爱荷华市 IA 气象站）获取。土壤数据从当地土壤调查的档案资料中获得。

**输入参数：**气象、土壤和管理输入数据如下：

Input parameter	Value	Unit
Climate		
Latitude	41.5	°
Weather station	IA Observatory, Iowa City	
N in rainfall	1	mg N/l
Air NH <sub>3</sub> concentration	0.06	µg N/m <sup>3</sup>
Atmospheric CO <sub>2</sub> concentration	350	ppm
Soil		
Land-use type	Upland cropland	
Texture	loam	
Bulk density	1.3	g/cm <sup>3</sup>
pH	6.5	
SOC content (0-10 cm)	0.015	g C/g soil
Management		
Number of cropping systems	1	
Span of cropping system 1	1	year
Years in a cycle of cropping system 1	1	year
Farming practices for year 1		
Number of crops planted	1	
Crop 1 (crop type code)	Maize (1)	
Planting date	5/20	
Harvest date	10/20	
Fraction of above-ground residue left as stub	0.1	
Maximum yield	5800	kg C/ha
Grain fraction	0.65	
Leaf+stem fraction	0.23	
Root fraction	0.12	
Grain C/N ratio	60	
Leaf+stem C/N ratio	90	
Root C/N ratio	100	
TDD	2800	°C
Water requirement	100	g water/g dry matter
Maximum LAI	5	
N fixation index	1	
Vascularity	0	
Cover crop	No	
Tilling applications	2	
Tilling application 1: date	5/10	
Tilling application 1: depth	20	cm
Tilling application 2: date	10/25	
Tilling application 2: depth	20	cm
Fertilizer applications	1	
Fertilization 1: date	5/20	
Fertilization 1: rate	150	kg N/ha
Fertilization 1: type	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	
Manure applications	0	
Weeding applications	0	
Irrigation applications	0	

**DNDC模拟：**以上所列输入信息都存入一个名为“Iowa\_maize\_1997.dnd”的文件中, 此文件保存在你收到的DNDC文件包内。现在你可以启动DNDC，在主菜单界面点击**【点位】/【输入】/【打开一个输入文件】**；并选取“Iowa\_maize\_1997.dnd”。当“Iowa\_maize\_1997.dnd”被选取后，该点位的所有输入信息都呈现在各输入页中。请花一点时间浏览各页，以认识爱荷华州这一玉米地的气候、土壤及管理情况。浏览过后，你可在主菜单界面点击**【点位】/【模拟】**去实施对该点位的模拟。野外观测获得的玉米生长数据存放在文件“Iowa\_field\_model\_comparison.xls”中。你所模拟的玉米生长数据记录在文件“C:\DNDC\Result\Record\Site\Day\_FieldCrop\_1.csv”中。

为比较模拟与观测的结果，你可将在

“C:\DNDC\Result\Record\Site\Day\_FieldCrop\_1.csv” 中的有关数据（即 “LeafC”, “StemC”, “RootC” and “GrainC” 栏目数据）粘贴到 “Iowa\_field\_model\_comparison.xls”中的相应位置。你会得到下图（图 31）：

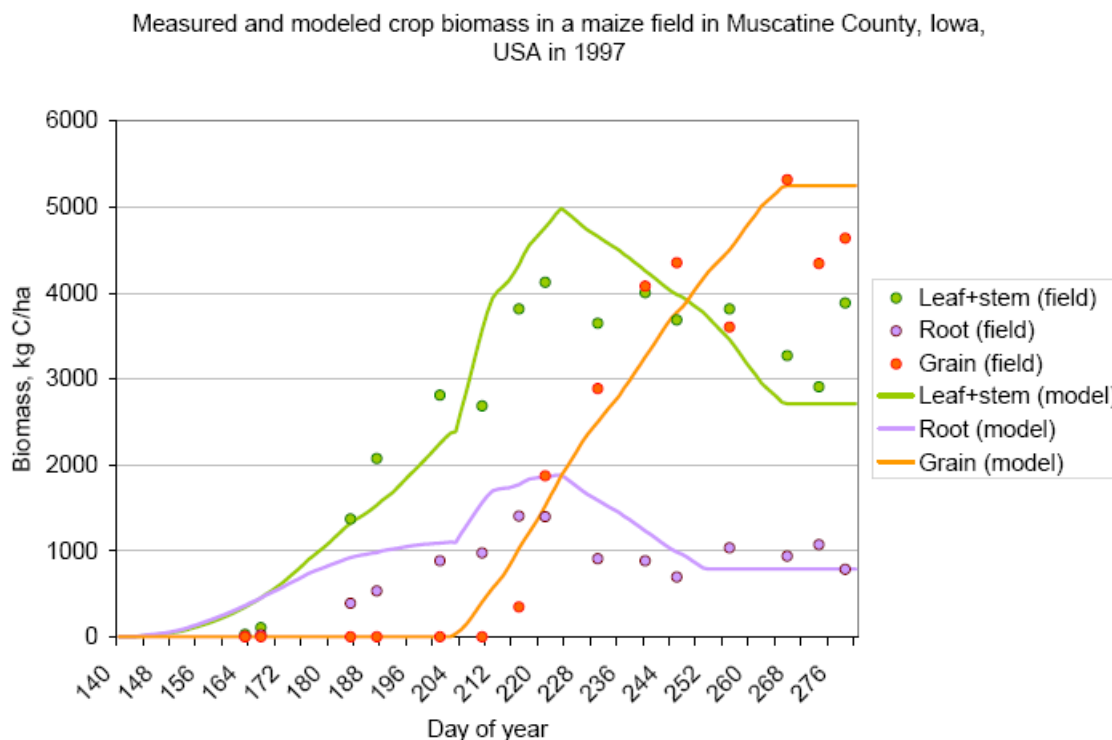


图31. 观测和DNDC模拟的美国爱荷华州玉米生长动态对比

**简评：**模拟此例的目的是了解如何通过正确地设置作物参数来对作物生长和产量进行模拟。我们鼓励使用者对一些作物参数，如最大产量、生物量的分配、生物量C/N比率、生长积温(TDD)、需水量等进行修正，并观察这些参数的改变如何在已知气象和土壤条件下影响作物的生长。

## 实例2： 美国夏威夷的甘蔗生长

**点位简介：**甘蔗是一多年生作物。1991-1993期间，在夏威夷欧胡岛（Oahu）的“夏威夷甘蔗生产者协会昆尼亚分站”（Hawaiian Sugar

Planters Association Kunia Substation) (21° 24' N)，夏威夷大学的卡尔•伊万森（Carl Evensen）和他的同事们对甘蔗的生长和产量进行了测定。在19个月的生长阶段，他们对作物总生物量、叶茎和根的成分进行了定期测量。观测的结果已发表（Evensen et al. ， 1997, Agronomy Journal 89:638-646）。1991-1993期间的日气象数据是从檀香山（Honolulu）的气象站取得的。

输入参数：气象，土壤和管理的输入数据设置如下：

	Input parameter	Value	Unit
Climate			
Latitude		21.5	°
Weather station		Honolulu Observatory, Hawaii	

N in rainfall	0.1	mg N/l
Air NH <sub>3</sub> concentration	0.06	µg N/m <sup>3</sup>
Atmospheric CO <sub>2</sub> concentration	350	ppm
Soil		
Land-use type	Upland cropland	
Texture	Silty clay loam	
Bulk density	1.25	g/cm <sup>3</sup>
pH	7.0	
SOC content (0-10 cm)	0.012	g C/g soil
Management		
Number of cropping systems	1	
Span of cropping system 1	3	year
Years in a cycle of cropping system 1	3	year
Farming practices for year 1		
Number of crops planted	1	
Crop 1 (crop type code)	Sugarcane (7)	
Planting date	5/20	
Harvest date	1/10	
Year of harvest	3	
Fraction of above-ground residue left as stub	0.1	
Maximum yield of grain	150	kg C/ha
Grain fraction	0.01	
Leaf+stem fraction	0.89	
Root fraction	0.10	
Grain C/N ratio	150	
Leaf+stem C/N ratio	100	
Root C/N ratio	150	
TDD	11000	°C
Water requirement	500	g water/g dry matter
Maximum LAI	6	
N fixation index	1	
Vascularity	0	
Cover crop	No	
Tilling applications	0	
Fertilizer applications	4	
Fertilization 1: date	5/20	
Fertilization 1: rate	37	kg N/ha
Fertilization 1: type	Urea	
Fertilization 2: date	8/20	
Fertilization 2: rate	40	kg N/ha
Fertilization 2: type	Urea	
Fertilization 3: date	10/20	
Fertilization 3: rate	40	kg N/ha
Fertilization 3: type	Urea	
Fertilization 4: date	12/20	
Fertilization 4: rate	40	kg N/ha
Fertilization 4: type	Urea	
Manure applications	0	
Weeding applications	0	
Irrigation applications	30	
Farming practices for year 2		
Number of crops planted	0	
Crop 1 (crop type code)	None	
Fertilizer applications	3	
Fertilization 1: date	1/20	
Fertilization 1: rate	40	kg N/ha
Fertilization 1: type	Urea	
Fertilization 2: date	2/20	
Fertilization 2: rate	40	kg N/ha
Fertilization 2: type	Urea	
Fertilization 3: date	3/20	
Fertilization 3: rate	40	kg N/ha
Fertilization 3: type	Urea	
Irrigation applications	32	
Farming practices for year 3		
Number of crops planted	0	
Crop 1 (crop type code)	None	
Fertilizer applications	0	
Irrigation applications	0	



**DNDC模拟：** 以上所列输入信息储存在一文件中，该文件名字是“Honolulu\_sugarcane.dnd”。该文件储存在你所收到的DNDC文件包内。现在你可以在DNDC输入界面中打开此文件，并浏览所有输入信息。点击【模拟】去执行这个三年模拟。模拟结果记录在三个结果文件中Day\_FieldCrop\_1.csv, Day\_FieldCrop\_2.csv 和Day\_FieldCrop\_3.csv。提取存在这三个文件中的甘蔗模拟结果，并与存在文件“Honolulu\_comparison.xls”中的观测数据进行比较，你会得到图32：

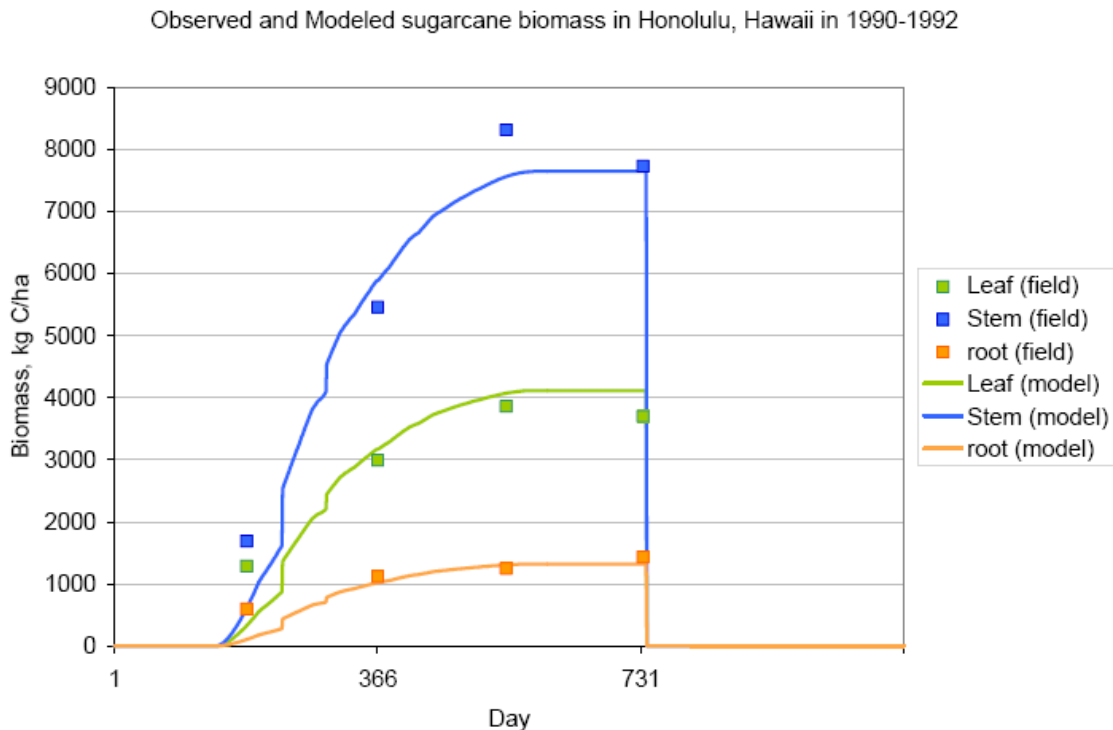


图32. 观测和DNDC模拟的美国夏威夷甘蔗生长动态对比

**简评：** 此例模拟的目的是显示如何通过正确地设置作物的参数来实现多年生作物生长模拟。在此例子中，只在第一年中定义了甘蔗的生长参数，令其在第三年作物收割。第二年和第三年不需再对作物参数进行输入，DNDC自动控制作物的跨年度生长。农田管理措施可以每年不同。

### 实例 3：英国洛桑实验站冬小麦土壤有机碳150年动态

**点位情况：** 在英国洛桑（Rothamsted）农业实验站，对一冬小麦农

田的土壤有机碳(SOC)进行了150年的连续观测。除了在1926-1967年期间该农田每五年撂荒一年，其余的年份都种冬小麦。此块麦田分三种处理：22号小区施用有机肥（3吨/公顷/年）；08小区施用化肥硫酸铵（144 kg N/公顷/年）；02小区为对照，不施任何肥料。在第一次世界大战时期，由于人力短缺，杂草疯长，导致小麦产量降低。在1926到1967年期间，这3块麦田都每五年撂荒一年以控制杂草。在1843年到1967年期间，冬小麦品种为Red Rostock；1968年后，种植一个新品种Cappelle-Desprez，新品种是短秆作物，籽粒最大产量是原来旧品种的两倍。土壤每20年取样一次，分析SOC含量。作物产量也进行了测定，平均每10年汇总一次。这是一个非常独特的例子，它提供了世界上最长的作物产量和SOC记录。1999年，洛桑实验站的金克森博士（Dr. D.S. Jenkinson）为新罕布什尔大学的DNDC研究组提供了野外数据，以帮助模型发展和验证。

**输入参数：**下表显示气象、土壤和农田管理的输入数据：

	Input parameter	Value	Unit
Climate	Latitude	51.0	°
	Weather station	Rothamsted, UK	
	N in rainfall	2.0	mg N/l
	Air NH <sub>3</sub> concentration	0.2	µg N/m <sup>3</sup>
	Atmospheric CO <sub>2</sub> concentration	350	ppm
Soil	Land-use type	Upland cropland	
	Texture	loam	
	Bulk density	1.5	g/cm <sup>3</sup>
	pH	7.5	
	SOC content (0-10 cm)	0.01	g C/g soil

# Management

Number of cropping systems	4	
Span of cropping system 1	71	year
Years in a cycle of cropping system 1	1	year
Farming practices for year 1		
Number of crops planted	1	
Crop 1 (crop type code)	Winter wheat (2)	
Planting date	10/1	
Harvest date	8/1	
Fraction of above-ground residue left as stub	0.1	
Maximum yield	1200	kg C/ha
Grain fraction	0.23	
Leaf+stem fraction	0.45	
Root fraction	0.32	
Grain C/N ratio	25	
Leaf+stem C/N ratio	167	
Root C/N ratio	200	
TDD	1500	°C
Water requirement	150	g water/g dry matter
Maximum LAI	3	
N fixation index	1	
Vascularity	0	
Cover crop	No	
Tilling applications	1	
Tilling application 1: date	8/5	
Tilling application 1: depth	30	cm
Fertilizer applications	0	
Manure applications	1	
Manure application 1: date	9/1	
Manure application rate	3000	kg C/ha
Manure C/N ratio	13.3	
Weeding applications	0	
Irrigation applications	0	
Span of cropping system 2	14	year
Years in a cycle of cropping system 2	1	year
Farming practices for year 1		
Number of crops planted	1	
Crop 1 (crop type code)	Winter wheat (2)	
Planting date	10/1	
Harvest date	8/1	
Fraction of above-ground residue left as stub	0.1	
Maximum yield	1200	kg C/ha
Grain fraction	0.23	
Leaf+stem fraction	0.45	
Root fraction	0.32	
Grain C/N ratio	25	
Leaf+stem C/N ratio	167	
Root C/N ratio	200	
TDD	1500	°C
Water requirement	150	g water/g dry matter
Maximum LAI	3	
N fixation index	1	
Vascularity	0	

Cover crop	No	
Tilling applications	1	
Tilling application 1: date	8/5	
Tilling application 1: depth	30	cm
Fertilizer applications	0	
Manure applications	1	
Manure application 1: date	9/1	
Manure application rate	3000	kg C/ha
Manure C/N ratio	13.3	
Weeds problem	Serious (2)	
Weeding date	9/1	
Irrigation applications	0	
Span of cropping system 3	40	year
Years in a cycle of cropping system 3	5	year
Farming practices for year 1		
Number of crops planted	1	
Crop 1 (crop type code)	Fallow (0)	
Planting date	1/1	
Harvest date	12/31	
Fraction of above-ground residue left as stub	0	
Maximum yield	0	kg C/ha
Grain fraction	0	
Leaf+stem fraction	0	
Root fraction	0	
Grain C/N ratio	0	
Leaf+stem C/N ratio	0	
Root C/N ratio	0	
TDD	0	°C
Water requirement	0	g water/g dry matter
Maximum LAI	0	
N fixation index	1	
Vascularity	0	
Cover crop	No	
Tilling applications	0	
Fertilizer applications	0	
Manure applications	0	
Weeding applications	0	
Irrigation applications	0	
Farming practices for year 2, 3, 4 and 5		
Number of crops planted	1	
Crop 1 (crop type code)	Winter wheat (2)	
Planting date	10/1	
Harvest date	8/1	
Fraction of above-ground residue left as stub	0.1	
Maximum yield	1200	kg C/ha
Grain fraction	0.23	
Leaf+stem fraction	0.45	
Root fraction	0.32	
Grain C/N ratio	25	
Leaf+stem C/N ratio	167	
Root C/N ratio	200	
TDD	1500	°C
Water requirement	150	g water/g dry matter

Maximum LAI	3	
N fixation index	1	
Vascularity	0	
Cover crop	No	
Tilling applications	1	
Tilling application 1: date	8/5	
Tilling application 1: depth	30	cm
Fertilizer applications	0	
Manure applications	1	
Manure application 1: date	9/1	
Manure application rate	3000	kg C/ha
Manure C/N ratio	13.3	
Weeding applications	0	
Irrigation applications	0	
Years in a cycle of cropping system 4	1	year
Farming practices for year 1		
Number of crops planted	1	
Crop 1 (crop type code)	Winter wheat (2)	
Planting date	10/1	
Harvest date	8/1	
Fraction of above-ground residue left as stub	0.1	
Maximum yield	2800	kg C/ha
Grain fraction	0.37	
Leaf+stem fraction	0.38	
Root fraction	0.25	
Grain C/N ratio	25	
Leaf+stem C/N ratio	316	
Root C/N ratio	210	
TDD	1500	°C
Water requirement	150	g water/g dry matter
Maximum LAI	3	
N fixation index	1	
Vascularity	0	
Cover crop	No	
Tilling applications	1	
Tilling application 1: date	8/5	
Tilling application 1: depth	30	cm
Fertilizer applications	0	
Manure applications	1	
Manure application 1: date	9/1	
Manure application rate	3000	kg C/ha
Manure C/N ratio	13.3	
Weeding applications	0	
Irrigation applications	0	

**DNDC模拟：**用于此例子的所有输入数据存在三个文件中：

“UK\_Rothamsted\_manure.dnd”，“UK\_Rothamsted\_fertilizer.dnd” 和  
“UK\_Rothamsted\_control.dnd”。这三个文件你应已经收到。现在你可以在DNDC输入界面打开并浏览这些数据，特别注意三种不同管理情景是如何设置的，以及150年是如何划分成四个不同阶段进行定义的。浏览完后，可点击【OK】对每一小区进行150年的模拟。模拟结束后，打开存放在C:\DNDC\Result\Record\Site\目录下的文件  
“Multi\_year\_summary.csv”，你会看到150年中各年的作物产量和土壤SOC含量。将有关数据（即“GrainC\_yield” 和 “SOC 0-20cm, kg C/ha”栏目中的数据）粘贴到野外观测数据文件  
“UK\_Rothamsted\_wheat\_150yr.xls”中，你可对模拟的结果与观测数据进行比较。其结果如图33和34：

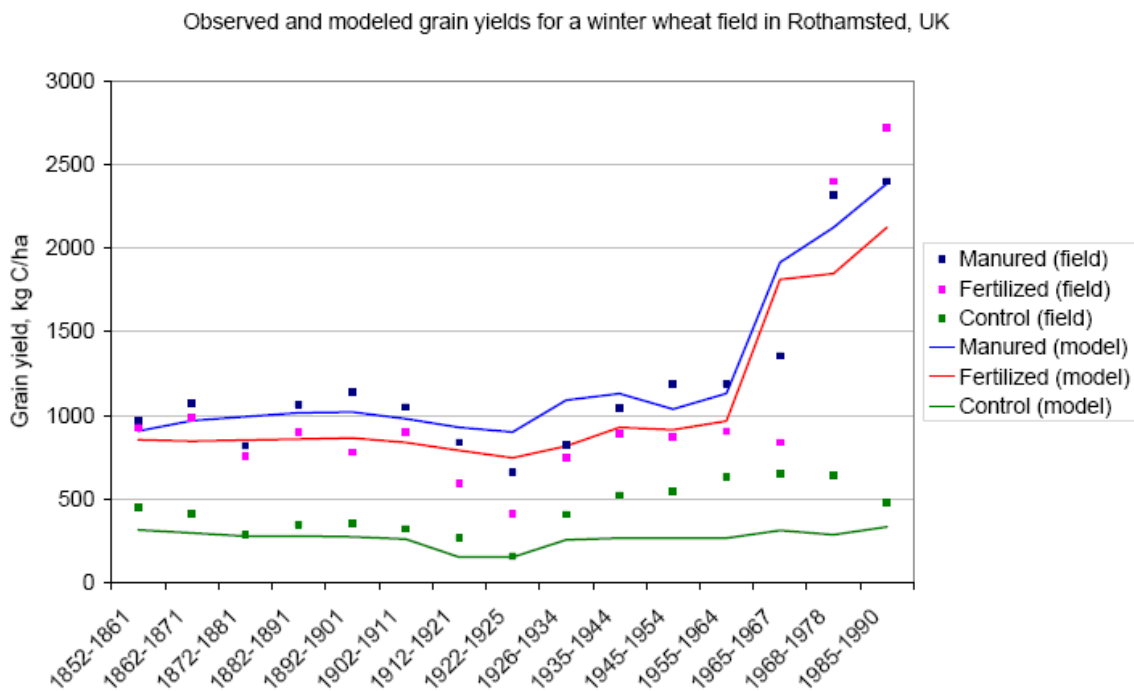


图33. 观测和DNDC模拟的英国洛桑实验站150年冬小麦产量对比

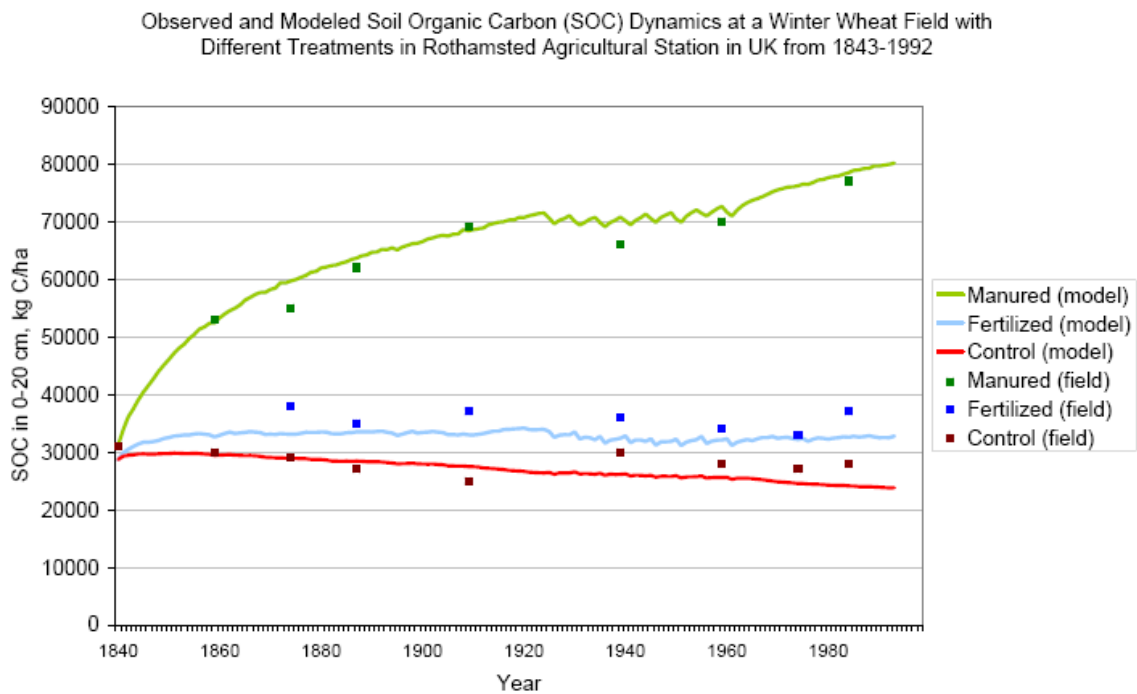


图34. 观测和DNDC模拟的英国洛桑实验站150年冬小麦农田土壤有机碳动态对比

**简评：**此例子的目的是显示如何通过定义种植系统和作物循环来实现一个长期模拟。在大多农业生态系统中，作物凋落物还田和有机肥施用在土壤SOC的动态平衡中起关键作用。所以，对模拟农田SOC动态来说，正确模拟作物的生物量是至关重要的。洛桑实验站的150年观测数据表明，使用化肥的小区土壤并没有明显固碳作用，尽管由于使用足够多的化肥使作物一直保持高产。相比之下，有机肥的施用提供了外部碳源，这才大大促进了该土壤的固碳作用。我们鼓励使用者试着去改变（1）有机肥施用量，（2）有机肥C/N比例，（3）秸秆还田比例。看看这些改变会对该土壤的SOC动态有何长期影响。如果你对此例中的碳的迁移变化感兴趣，可审阅日模拟结果文件（如“Day\_SoilC\_1.csv”等），它们会提供十分丰富的内容，使你可以细查这150年土壤碳的生物地球化学迁移转化，从而对土壤中的碳是如何被气象、土壤、作物和管理措施所控制有更深入的理解。

#### **实例 4： 法国阿罗农田氧化亚氮排放**

**点位简介：**在法国Arrou的一块农田(48.1° N, 1.1° W)，何纳特(C. Hénault)和他的同事在1998和1999两年间进行了N<sub>2</sub>O排放测定。该农田种植系统是油菜和冬小麦轮作，施化肥。在实验期间测量了作物生物量、无机氮(硝态氮和铵氮)、土壤温度和湿度及N<sub>2</sub>O排放量。在1999年三月下旬，在温暖的土壤里施用了尿素和氨化肥后，监测到了高的N<sub>2</sub>O排放。实验结果发表在Hénault, C., Bizouard, F., Laville, P., Gabrielle, B., Nicoullaud, B., Germon, J. C., and Cellier, P., 2005. Predicting in situ soil N<sub>2</sub>O emission using NOE algorithm and soil database. *Global Change Biology* 11, 115–127。用于此模拟的数据是由欧盟氮课题组（NitroEurope）提供给新罕布什尔大学DNDC研究组的。

**输入参数：** 气象，土壤和管理输入数据设定如下：

Input parameter	Value	Unit
<b>Climate</b>		
Latitude	48.1	°
Weather station	Arrou	
N in rainfall	1	mg N/l
Air NH <sub>3</sub> concentration	0.06	µg N/m <sup>3</sup>
Atmospheric CO <sub>2</sub> concentration	350	ppm
<b>Soil</b>		
Land-use type	Upland cropland	
Texture	Silty loam	
Bulk density	1.29	g/cm <sup>3</sup>
pH	6.4	
SOC content (0-10 cm)	0.0096	g C/g soil
<b>Management</b>		
Number of cropping systems	1	
Span of cropping system 1	2	year
Years in a cycle of cropping system 1	2	year
Farming practices for year 1		
Number of crops planted	2	
Crop 1 (crop type code)	Rapeseeds (25)	
Planting date	1/1	
Harvest date	6/1	
Fraction of above-ground residue left as stub	1	
Maximum yield	2400	kg C/ha
Grain fraction	0.45	
Leaf+stem fraction	0.4	
Root fraction	0.15	
Grain C/n ratio	12	
Leaf+stem C/N ratio	45	
Root C/N ratio	52	
TDD	700	°C
Water requirement	450	g water/g dry matter
Maximum LAI	4	
N fixation index	1	
Vascularity	0	
Cover crop	No	
Crop 2 (crop type code)	Winter wheat (2)	
Planting date	10/21	
Harvest date	7/12	
Fraction of above-ground residue left as stub	0.5	
Maximum yield	3500	kg C/ha



Maximum yield	3500	kg C/ha
Grain fraction	0.45	
Leaf+stem fraction	0.38	
Root fraction	0.17	
Grain C/n ratio	30	
Leaf+stem C/N ratio	45	
Root C/N ratio	70	
TDD	1300	°C
Water requirement	180	g water/g dry matter
Maximum LAI	3	
N fixation index	1	
Vascularity	0	
Cover crop	No	
Tilling applications	1	
Tilling application 1: date	6/2	
Tilling application 1: depth	45	cm
Fertilizer applications	1	
Fertilization 1: date	1/1	
Fertilization 1: rate	90	kg N/ha
Fertilization 1: type	NH4NO3	
Manure applications	0	
Weeding applications	0	
Irrigation applications	0	
Farming practices for year 2		
Number of crops planted	2	
Crop 1 (crop type code)	Fallow (0)	
Cover crop	No	
Tilling applications	1	
Tilling application 1: date	7/13	
Tilling application 1: depth	45	cm
Fertilizer applications	3	
Fertilization 1: date	2/6	
Fertilization 1: rate	58	kg N/ha
Fertilization 1: type	NH4NO3	
Fertilization 2: date	3/12	
Fertilization 2: rate	83	kg N/ha
Fertilization 2: type	NH4NO3, urea	
Fertilization 3: date	3/27	
Fertilization 3: rate	40	kg N/ha
Fertilization 3: type	NH4NO3, urea	
Manure applications	0	
Weeding applications	0	
Irrigation applications	0	

**DNDC模拟:** 以上所列的输入信息储存在一个名叫“Arrou\_9899.dnd”的文件中, 它在发给你的DNDC文件包里。请在DNDC用户界面打开此文件, 浏览其内容, 并进行模拟。模拟后, 在C:\DNDC\Result\Record\Site\目录下的文件Day\_FieldCrop\_1.csv 和Day\_FieldCrop\_2.csv 中, 你会看到模拟的作物生长情况 (“LeafC”, “StemC”, “RootC” and “GrainC”); 在Day\_SoilN\_1.csv 和Day\_SoilN\_2.csv文件中看到土壤0-20厘米各种形态氮 (“Urea”, “NH4+”, “NO3-”和“Exchangeable-NH4”) 的含量及N<sub>2</sub>O排放量。野外实测数据存放在文件“Arrou\_comparison.xls”中。将模拟结果与实测数据放在一起比较, 其结果应如图35:

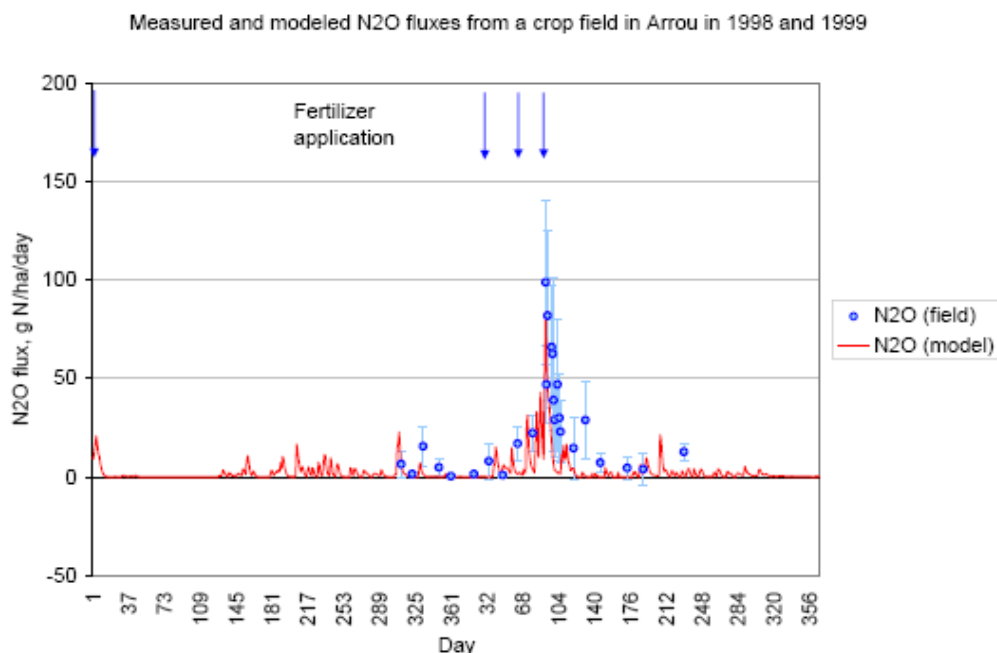


图35. 观测和DNDC模拟的法国阿罗农田氧化亚氮排放对比

**简评:** 此模拟的目的是为了说明如何对测定的土壤N流包括 $N_2O$ 排放与模拟的结果进行比较。土壤中N的状况由N的输入(如化肥使用)和N的输出(如作物吸收、含氮气体排放、硝态氮淋溶等)来控制的。正确模拟作物生长是保证正确模拟土壤中N的含量的前提。 $N_2O$ 排放对化肥类型、施肥量、施肥深度等因素都很敏感。请试验改变以下几项: (1) 化肥类型, (2) 施肥量, (3) 施肥深度, (4) 使用可控缓释化肥, (5) 使用硝化作用抑制剂。看看它们对该点位 $N_2O$ 排放有何影响。如果你对N的生物地球化学有兴趣, 你可在模拟结果文件(如“Day\_SoilN\_1.csv”等)中发现更多与N库和N流有关的数据。分析这些数据会使你对土壤N如何受气象、土壤和管理条件影响有更多了解。

### 实例 5: 美国德克萨斯州水稻田甲烷排放

**点位简介:** 萨斯(Ronald Sass)和他的同事於1994年在德克萨斯州靠近比蒙特(Beaumont)的A&M大学农业中心(Texas A&M University Agricultural Center) (30.2°N, 93.4°W)的一片水稻田中测定了甲烷的排放。水稻品种是Mars, 生长期较长, 在4月上旬播种, 8月中旬收割。在水稻生长期间, 土地排干一次。研究人员发现在水稻生长期间

排干土壤会大大减少甲烷的排放。萨斯於2000年提供观测数据给新罕布什尔大学的DNDC研究组，以发展和验证该模型的甲烷部分。

输入参数: 点上模拟的气象、土壤和管理的输入数据如下:

Input parameter	Value	Unit
<b>Climate</b>		
Latitude	30.2	°N
Weather station	Beaumont	
N in rainfall	2	mg N/l
Air NH <sub>3</sub> concentration	0.06	µg N/m <sup>3</sup>
Atmospheric CO <sub>2</sub> concentration	350	ppm
<b>Soil</b>		
Land-use type	Upland cropland	
Texture	Sandy clay loam	
Bulk density	1.3	g/cm <sup>3</sup>
pH	6.5	
SOC content (0-10 cm)	0.035	g C/g soil
<b>Management</b>		
Number of cropping systems	1	
Span of cropping system 1	1	year
Years in a cycle of cropping system 1	1	year
Farming practices for year 1		
Number of crops planted	1	
Crop 1 (crop type code)	Paddy rice (20)	
Planting date	4/5	
Harvest date	8/11	
Fraction of above-ground residue left as stub	0.9	
Maximum yield	6400	kg C/ha
Grain fraction	0.41	
Leaf+stem fraction	0.54	
Root fraction	0.05	
Grain C/n ratio	27	
Leaf+stem C/N ratio	45	
Root C/N ratio	55	
TDD	2800	°C
Water requirement	500	g water/g dry matter
Maximum LAI	6	
N fixation index	1	
Vascularity	1	
Cover crop	No	
Tilling applications	2	
Tilling application 1: date	4/1	
Tilling application 1: depth	30	cm
Tilling application 2: date	8/15	
Tilling application 2: depth	30	cm
Fertilizer applications	3	
Fertilization 1: date	4/5	
Fertilization 1: rate	56	kg N/ha
Fertilization 1: type	Urea	
Fertilization 2: date	5/10	
Fertilization 2: rate	78	kg N/ha
Fertilization 2: type	Urea	
Fertilization 3: date	6/10	
Fertilization 3: rate	50	kg N/ha
Fertilization 3: type	Urea	
Manure applications	0	
Flooding applications	2	
Flooding 1: date	5/17	
Draining 1: date	6/16	
Flooding 2: date	6/21	
Draining 2: date	7/27	
Irrigation applications	0	

**DNDC模拟:** 以上所列输入数据储存在一个名为“Texas\_Beaumont\_CH4.dnd”的文件中, 该文件在你所收到的DNDC文件包中。用此输入文件运转 DNDC, 你将完成对德克萨斯州这片水稻田的模拟。在C:\DNDC\Result\Record\Site\目录下, 你可打开文件“Day\_SoilC\_1.csv”。此文件含有每日甲烷排放数据。野外实测甲烷数据存在文件“Texas\_Mars\_1.xls”中。你可以用模拟的每日甲烷排放量与实测数据进行比较。其结果应如图36:

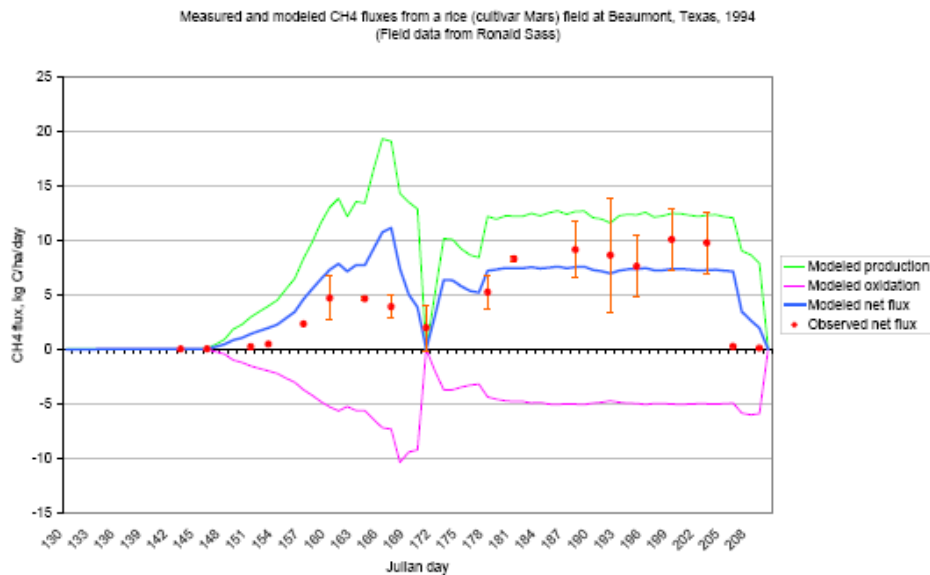


图36. 观测和DNDC模拟的美国德克萨斯州水稻田甲烷排放对比

**简评:** 此例主要目的在于说明如何对湿地进行生物地球化学模拟。湿地的环境特征是有较高水位。在DNDC中, 有四种方法定义水位的波动: (1) 定义淹灌的起始和结束日期; (2) 通过建立一个集水指数来计算雨养农田水位; (3) 直接使用观测的水位数据; (4) 利用历史水位观测数据推导出的一组水文参数, 建立经验公式。在此例中, 我们采用了方法1, 此方法适用于大部分灌溉管理的水稻田。甲烷排放是湿地生态系统主要环境问题之一。你可以尝试着通过改变水管理、改变水稻产量、改变秸秆处理以及其它管理措施来减少这种温室气体的排放。

以上五个实例比较简单, 但已代表了实施DNDC模拟时的可能遇到的主要问题。希望这些练习能增进你对DNDC应用的认识。

随着野外观测和实验研究的进展，人们对农业生态系统的认识不断加深，DNDC模型也通过吸收新认识在不断改进和成长。新的DNDC版本随时发布在网站 <http://dndc.sr.unh.edu>。请经常访问该网站，已更新自己的DNDC模型。

## 七. 相关文章目录

- Qiu, J., C. Li, L. Wang, H. Tang, H. Li, and E. Van Ranst (2009), Modeling impacts of carbon sequestration on net greenhouse gas emissions from agricultural soils in China, *Global Biogeochem. Cycles*, 23, GB1007, doi:10.1029/2008GB003180.
- Wang L., J. Qiu, H. Tang, H. Li, C. Li, E. Van Ranst. 2008. Impacts of Farming Management Alternatives on Soil Organic Carbon Dynamics Across Major Agricultural Regions in China. *Geoderma* 147:47-55.
- Kurbatova, J., Li, C., Varlagin, A., Xiao, X., and Vygodskaya, N.: Modeling carbon dynamics in two adjacent spruce forests with different soil conditions in Russia, *Biogeosciences*, 5, 969-980, 2008.
- Smith, W.N., B.B. Grant, R.L. Desjardins, P. Rochette, C.F. Drury, and C. Li, 2008. Evaluation of two process-based models to estimate N<sub>2</sub>O emissions in Eastern Canada. *Canadian Journal of Soil Sciences*, 15:31-51.
- Sun, G., C. Li, C. Trettin, J. Lu, and S.G. McNulty. 2006. Simulating the Biogeochemical Cycles in Cypress Wetland-Pine Upland Ecosystems at a Landscape Scale with the Wetland-DNDC Model. In *Proceedings of the International Conference on Hydrology and Management of Forested Wetlands*. April 8-12, 2006. New Bern, NC. pp 261-270.
- Leip A, G. Marchi, R. Koeble, M. Kempen, W. Britz, and C. Li. 2008. Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe, *Biogeosciences*, 5, 73-94.
- Li, C., Quantifying soil organic carbon sequestration potential with modeling approach. In: *Simulation of Soil Organic Carbon and Changes in Agricultural Cropland in China and Its Impact on Food Security*, Eds. Tang, Van Ranst and Qiu. Pp. 1-14. China Meteorological Press, Beijing, 2007.
- Smith, Gordon R., Bruce A. McCarl, Changsheng Li, Joel H. Reynolds, Roel

Hammerschlag, Ron L. Sass, William J. Parton, Steven M. Ogle, Keith Paustian, James Holtkamp, and Wiley Barbour. 2007. Harnessing farms and forests in the low-carbon economy: how to create, measure, and verify greenhouse gas offsets. Edited by Zach Willey and Bill Chameides. Raleigh, NC: Duke University Press, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. 229 p.

Beheydt, D., P. Boeckx, S. Sleutel, C. Li, and O. Van Cleemput. 2007. Validation of DNDC for 22 long-term N<sub>2</sub>O field emission measurements. *Atmospheric Environment* 41:6196-6211. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.04003.

Li., C. 2007. Quantifying greenhouse gas emissions from soils: Scientific basis and modeling approach. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53:344-352.

Saggar S., D.L. Giltrap, C. Li, and K.R. Tate, 2007. Modelling nitrous oxide emissions from grazed grasslands in New Zealand, *Agriculture Ecosystems & Environment* 119:205-216. doi:10.1016/j.agee.2006.07.010.

Li., C. 2007. Quantifying greenhouse gas emissions from soils: Scientific basis and modeling approach. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53:344-352.

Farahbakhshazad, N., D.L. Dinnes, C. Li, D.B. Jaynes, W. Salas. 2007. Modeling biogeochemical impacts of alternative management practices for a row-crop field in Iowa. *Agricultural Environment and Ecosystem*, , doi:10.1016/j.agee.2007.04.004.

Tonitto C., M.B. David, L.E. Drinkwater, C. Li, 2007a, Application of the DNDC model to tile-drained Illinois agroecosystems: model calibration, validation, and uncertainty analysis, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* DOI 10.1007/s10705-006-9076-0

Tonitto C., M.B. David, C. Li. L.E. Drinkwater, 2007b, Application of the DNDC model to tile-drained Illinois agroecosystems: model comparison of conventional and diversified rotations, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* DOI 10.1007/s10705-006-9074-2.

- Tang, H., J. Qiu, E. Van Ranst, and C. Li, 2006. Estimations of soil organic carbon storage in cropland of China based on DNDC model. *Geoderma*, 134:200-206.
- Zhang, F., C. Li, Z. Wang, and H. Wu. 2006. Modeling impacts of management alternatives on soil carbon storage of farmland in Northwest China. *Biogeosciences* 3:451-466.
- Kesik, M., N. Brüggemann, R. Forkel, R. Kiese, R. Knoche, C. Li, G. Seufert, D. Simpson, K. Butterbach-Bahl, Future Scenarios of N<sub>2</sub>O and NO emissions from European forest soils, *Journal of Geophysical Research – Biogeosciences* Volume 111, G02018, 2006
- Miehle et al., 2006, Quantifying uncertainty from large-scale model predictions of forest carbon dynamics (2006)12:1421-1434.  
doi:10.1111/j.1365-2486.01176.x.
- Li, C., W. Salas, B. DeAngelo, and S. Rose, 2006, Assessing alternatives for mitigating net greenhouse gas emissions and increasing yields from rice production in China over the next twenty years *Journal of Environmental Quality* 35:1554-1565. doi:10.2134/jeq2005.0208.
- Jagadeesh Babu, Y., C. Li, S. Frolking, D.R. Nayak, and T.K. Adhya, 2006. Field validation of DNDC model for methane and nitrous oxide emissions from rice-based production systems of India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, DOI 10.1007/s10705-005-6111-5.
- Pathak H., C. Li, R. Wassmann R. and J.K. Ladha, 2006. Simulation of Nitrogen Balance in the Rice-Wheat Systems of the Indo-Gangetic Plains: Upscaling Using the DNDC Model. *Soil Science Society of America Journal* (in press).
- Li, C., N. Farahbakhshazad, D.B. Jaynes, D.L. Dinnes, W. Salas, D. McLaughlin, 2006. Modeling nitrate leaching with a biogeochemical model modified based on observations in a row-crop field in Iowa. *Ecological Modelling* 196(2006):116-130.
- Miehle et al., 2006. Assessing productivity and carbon sequestration capacity of Eucalyptus globulus plantations using the process model Fores-DNDC: Calibration and validation, *Ecological Modelling* 192(2006):83-94.



Neufeldt et al., 2006. Disaggregated greenhouse gas emission inventories from agriculture via a coupled economic-ecosystem model, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112 (2006) 233-240.

Kesik, M., P. Ambus, R. Baritz, N. Brüggemann, K. Butterbach-Bahl, M. Damm, J. Duyzer, L. Horváth, R. Kiese, B. Kitzler, A. Leip C. Li, M. Pihlatie, K. Pilegaard, G. Seufert, D. Simpson, U. Skiba, G. Smiatek, T. Vesala, S. Zechmeister-Boltenstern, 2005. Inventories of N<sub>2</sub>O and NO emissions from European forest soils. *Biogeosciences* 2:353-375 SRef-ID:1726-4189/bg/2005-2-353.

Sun, G., C. Li, C. Trettin, J. Lu, and S. McNulty, 2005, Simulating the biogeochemical cycles in cypress wetland-pine upland ecosystems at a landscape scale with the Wetland-DNDC model (submitted to International Conference on Hydrology and Management of Forested Wetland, New Bern, NC, April 2006).

Jagadeesh Babu, J., C. Li, S. Frolking, D.R. Nayak, A. Datta, and T.K. Adhya, 2005, Modeling of methane emissions from rice-based production systems in India with the denitrification and decomposition model: Field validation and sensitivity analysis. *Current Science*, Vol 89, No. 11, 1-6.

Qiu et al., 2005, Studies on the situation of soil organic carbon storage in croplands in northeast of China. *Agricultural Sciences in China* (2005) 4(1):101-105.

Kiese et al., 2005, Regional application of PnET-N-DNDC for estimating the N<sub>2</sub>O source strength of tropical rainforests in the Wet Tropics of Australia. *Global Change Biology* (2005) 11:128-144. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2004.00873.x.

Cui et al., 2005, Linkage of MIKE SHE to Wetland-DNDC for carbon budgeting and anaerobic biogeochemistry simulation. *Biogeochemistry* (2005) 72:147-167. DOI: 10.1007/s10533-004-0367-8.

Cui, J., C. Li, and C. Trettin. 2005. Analyzing the ecosystem carbon and hydrologic characteristics of forested wetland using a biogeochemical process model, *Global Change Biology*, 11:278-289, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.00900.x.

- Li., C., S. Frolking, and K. Butterbach-Bahl, 2005. Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing. *Climatic Change* (2005) 72:321-338, DOI: 10.1007/s10584-005-6791-5.
- Li, C., S. Frolking, X. Xiao, B. Moore III, S. Boles, J. Qiu, Y. Huang, W. Salas, and R. Sass. 2005. Modeling impacts of farming management alternatives on CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O emissions: A case study for water management of rice agriculture of China. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 19, doi:10.1029/2004GB002341.
- Hsieh et al., 2005, The effect of future climate perturbations on N<sub>2</sub>O emissions from a fertilized humid grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 73:15-23. DOI 10.1007/s10705-005-7129-4.
- Pathak H., C. Li, and Wassmann R., 2005. Greenhouse gas emissions from India rice fields: calibration and upscaling using the DNDC model, *Biogeosciences*, 2, 113-123.
- Zhuang et al., 2004, Emission inventory of carbon-containing greenhouse gases in China and technological measures for their abatement. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment* Vol. 2 No. 3, 7-13.
- Frolking, S., C. Li, R. Braswell, and J. Fuglestedt, 2004, Short- and long-term greenhouse gas and radiative forcing impacts of changing water management in Asian rice paddies. *Global Change Biology* 10, 1180-1196, doi: 10.1111/j.1365-2486.00798.x.
- Saggar, S., R.M. Andrew, K.R. Tate, N.J. Rodda, C.B. Hedley and J.A. Townsend 2004. Modelling nitrous oxide emissions from New Zealand dairy grazed pastures. *Nutr Cycling Agroecosyst* 68:243-255.
- Grant, B., Smith, W.N., Desjardins, R., Lemke, R., C. Li. 2004. Estimated N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions as influenced by agricultural practices in Canada, *Climate Change* 65 (3): 315-332.
- Smith, W.N. , B. Grant, R.L. Desjardins, R. Lemke, B. Grant, C. Li, 2004. Estimates of the interannual variations of N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils in Canada, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*,

68:37–45.

- Li, C., A. Mosier, R. Wassmann, Z. Cai, X. Zheng, Y. Huang, H. Tsuruta, J. Boonjawat, and R. Lantin. 2004. Modeling Greenhouse Gas Emissions from Rice-Based Production Systems: Sensitivity and Upscaling. *Global Biogeochemical Cycles* 18: GB1043, doi:10.1019/2003GB002045.
- Li, C. 2004. Modeling terrestrial ecosystems. *Complex Systems and Complexity Science* 1:49-57 (in Chinese).
- Li, C., J. Cui, G. Sun, and C. Trettin. 2004. Modeling impacts of management on carbon sequestration and trace gas emissions in forested wetland ecosystems. *Environmental Management* DOI: 10.1007/s00267-003-9128-z.
- Kiese, R., C. Li, D. Hilbert, H. Papen and K. Butterbach-Bahl, 2004. Regional application of PnET-N-DNDC for estimating the N<sub>2</sub>O source strength of tropical rainforests in the Wet Tropics of Australia, *Global Change Biololgy* 11:128-144, doi: 10.1111/j.1365-2486.2004.00873x.
- Butterbach-Bahl, K., M. Kesik, P. Miehe, H. Papen, and C. Li. 2004. Quantifying the regional source strength of N-trace gases across agricultural and forest ecosystems with process based models. *Plant and Soil* 260:311-329.
- Ganzeveld, L., C. Li, L. Cardenas, J. Hawkins, and G. Kirkman. Nitrogen emissions from soils. In: C. Granier et al. (eds.), *Emissions of Atmospheric Trace Components*, 171-238. 2004 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Li, C., X. Xiao, S. Frolking, B. Moore III, J. Qiu, Y. Zhang, Y. Zhuang, X. Wang, Z. Dai, J. Liu, X. Qin, B. Liao, R. Sass. 2003. Greenhouse gas emission from cropland of China. *Quaternary Sciences*, 5:493~503.
- Qiu JJ, Tang HJ, Frolking S, Boles S, Li C, Xiao X, Liu JY, Zhuang YH, Qin XG. 2003. Mapping single-, double-, and triple-crop agriculture in China at 0.5°x0.5° by combining county-scale census data with a

remote sensing-derived land cover map. *Geocarto International*, 18(2):3-13.

Farahbakhshazad N., McLaughlin D., Dinnes D. L., Jaynes D. B., and Li C. A site-specific evaluation of a crop-Denitrification/Decomposition model based upon a U.S. Midwestern row-crop field. 2002 ASA-CSSA-SSSA, 677 South Segoe Road, Madison, WI 53711, USA. *Proceedings of the Sixth International Conference on Precision Agriculture*.

Xu-Ri, M Wang, and Y. Wang. 2003. Using a modified DNDC model to estimate N<sub>2</sub>O fluxes from semi-arid grassland in China. *Soil Biology and Biochemistry* 35:615-620.

Qiu JJ, Tang HJ, Frolking S, Boles S, Li C, Xiao X, Liu JY, Zhuang YH, Qin XG. 2003. Mapping single-, double-, and triple-crop agriculture in China at 0.5°x0.5° by combining county-scale census data with a remote sensing-derived land cover map. *Geocarto International*, 18(2):3-13.

Cai, Z., T. Sawamoto, C. Li, G. Kang, J. Boonjawat, A. Mosier, R. Wassmann, and H. Tsuruta, 2003. Field validation of the DNDC model for greenhouse gas emissions in East Asian cropping systems, *Global Biogeochem. Cycles*, 17(4), 1107, doi:10.1029/2003GB002046.

Saggar, S., R.M. Andrew, K.R. Tate, C.B. Hedley and J.A. Townsend 2003. Simulation of nitrous oxide emissions from New Zealand dairy-grazed pastures and its mitigation strategies. In *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Methane and Nitrous Oxide Mitigation Conference*, 17-21 November, 2003 Beijing, China. pp. 461-468.

Li, C., Y. Zhuang, S. Frolking, J. Galloway, R. Harriss, B. Moore III, D. Schimel, and X. Wang, 2003. Modeling soil organic carbon change in croplands of China. *Ecological Applications* 13(2)327-336.

Li, C., J Qiu, S. Frolking, X. Xiao, W. Salas, B. Moore III, S. Boles, Y. Huang, and R. Sass, 2002. Reduced methane emissions from large-scale changes in water management in China's rice paddies during 1980-2000, *Geophysical Research Letters*, 29(20), doi:10.1029/2002GL015370,

2002.

Frolking, S., J. Qiu, S. Boles, X. Xiao, J. Liu, Y. Zhuang, C. Li, and X. Qin, 2002. Combining remote sensing and ground census data to develop new maps of the distribution of rice agriculture in China, *Global Biogeochem. Cycles*, 16(4), 1091, doi:10.1029/2001GB001425.

Farahbakhshazad N., McLaughlin D., Dinnes D. L., Jaynes D. B., and Li C. A site-specific evaluation of a crop-Denitrification/Decomposition model based upon a U.S. Midwestern row-crop field. 2002 ASA-CSSA-SSSA, 677 South Segoe Road, Madison, WI 53711, USA. *Proceedings of the Sixth International Conference on Precision Agriculture*.

Li, C., W. Salas, S. Frolking, S. Boles, X. Xiao, B. Moore, and R. Sass, 2002. Quantifying the atmospheric impacts of paddy rice agriculture in China. In: National Institute of Agro-Environmental Sciences, Science and Technology Agency of Japan, The Japan International Science and Technology Exchange Center. Proceedings of NIAES-STA International Workshop 2001: Crop Monitoring and Prediction at Regional Scales. 19-21 February 2001, Tsukuba, Japan. Pp. 29-36.

Smith, W.N., R.L. Desjardins, B. Grant, C. Li, R. Lemke, P. Rochette, M.D., and Corre, D. Pennock, 2002, Testing the DNDC model using N<sub>2</sub>O emissions at two experimental sites in Canada. *Canada Journal of Soil Science* 82:365-374.

Saggar, S., R.M. Andrew, K.R. Tate, N.J. Rodda, C.B. Hedley and J.A. Townsend 2002. Measurements and modelling of nitrous oxide emissions from dairy pastures. In proceedings of the workshop on *Dairy Farm Soil Management* (Eds L.D. Currie and P. Loganathan), *Occasional Report No.15*, Massey University, Palmerston North. Pp. 201-214.

Zhang, Y., C. Li, C. C. Trettin, H. Li, G. Sun, 2002. An integrated model of soil, hydrology and vegetation for carbon dynamics in wetland ecosystems, *Global Biogeochemical Cycles* 10.1029/2001GB001838.

Zhang, Y., C. Li, X. Zhou, and B. Moore III, 2002. A simulation model

linking crop growth and soil biogeochemistry for sustainable agriculture. *Ecological Modeling* 151:75-108.

Brown, L., Syed, B., Jarvis, S.C., Sneath, R.W., Phillips, V.R., Goulding, K.W.T., and C. Li, 2002. Development and application of a mechanistic model to estimate emission of nitrous oxide from UK agriculture. *Atmospheric Environment*, 36: 917-928.

Xiao, X., S. Boles, S. Frolking, W. Salas, B. Moore III, C. Li, L. He, and R. Zhao, 2002. Landscale-scale characterization of cropland in China using Vegetation and Landsat TM images. *Int. J. Remote Sensing* 23:3579-3594.

Xiao, X., L. He, W. Salas, C. Li, B. Moore III, R. Zhao, S. Frolking, and S. Boles, 2002. Quantitative relationships between field-measured leaf area index and vegetation index derived from VEGETATION images for paddy rice fields. *Int. J. Remote Sensing* 23:3595-3604.

Li, C. 2001. Biogeochemical concepts and methodologies: Development of the DNDC model. *Quaternary Sciences* 21:89-99 (in Chinese).

Butterbach-Bahl, K., F. Stange, H. Papen, G. Grell, and C. Li, 2001. Impact of changes in temperature and precipitation on N<sub>2</sub>O and NO emissions from forest soils, J. van Ham et al. (eds.) Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: Specific Understanding, Control and Implementation, 165-171. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Li C, Zhuang YH, Cao MQ, Crill PM, Dai ZH, Frolking S, Moore B, Salas W, Song WZ, Wang XK, 2001, Comparing a national inventory of N<sub>2</sub>O emissions from arable lands in China developed with a process-based agro-ecosystem model to the IPCC methodology. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 60:159-175.

Butterbach-Bahl, K., F. Stange, H. Papen, and C. Li, 2001, Regional inventory of nitric oxide and nitrous oxide emissions for forest soils of Southeast Germany using the biogeochemical model PnET-N-DNDC, *J Geophys Res* 106:34155-34165.

Li, C., W. Salas, S. Frolking, S. Boles, X. Xiao, B. Moore, and R. Sass, 2002.

Quantifying the atmospheric impacts of paddy rice agriculture in China. In: National Institute of Agro-Environmental Sciences, Science and Technology Agency of Japan, The Japan International Science and Technology Exchange Center. Proceedings of NIAES-STA International Workshop 2001: Crop Monitoring and Prediction at Regional Scales. 19-21 February 2001, Tsukuba, Japan. Pp. 29-36.

Smith, W.N., R.L. Desjardins, B. Grant, C. Li, R. Lemke, P. Rochette, M.D., and Corre, D. Pennock, 2002, Testing the DNDC model using N<sub>2</sub>O emissions at two experimental sites in Canada. *Canada Journal of Soil Science* 82:365-374.

Zhang, Y., C. Li, X. Zhou, and B. Moore III, 2002. A simulation model linking crop growth and soil biogeochemistry for sustainable agriculture. *Ecological Modelling* 151:75-108.

Li, C., Y. Zhuang, S. Frolking, Z. Dai, X. Wang, P. Crill, W. Song, B. Moore, W. salas, 2002, Scaling up nitrous oxide emissions from agricultural lands in China and the U.S., *Global and Planetary Change* (in press).

Li, C, Zhuang YH, Cao MQ, Crill1 PM, Dai ZH, Frolking S, Moore B, Salas W, Song WZ, Wang XK, 2001, Comparing a national inventory of N<sub>2</sub>O emissions from arable lands in China developed with a process-based agro-ecosystem model to the IPCC methodology. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 60:159-175.

Butterbach-Bahl, K., F. Stange, H. Papen, and C. Li, 2001, Regional inventory of nitric oxide and nitrous oxide emissions for forest soils of Southeast Germany using the biogeochemical model PnET-N-DNDC, *Journal of Geophysical Research* 106:34155-34165.

Butterbach-Bahl K., F. Stange, H. Papen, G. Grell, and C. Li, 2001, Impact of changes in temperature and precipitation on N<sub>2</sub>O and NO emissions from forest soils, J. van Ham et al. (eds.) *Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: Specific Understanding, Control and Implementation*, 165-171. Kluwer

Academic Publishers, the Netherlands.

Li, C., Aber, J., Stange, F., Butterbach-Bahl, K., Papen, H., 2000, A process-oriented model of N<sub>2</sub>O and NO emissions from forest soils: 1, Model development, *J. Geophys. Res.* Vol. 105 , No. 4 , p. 4369-4384.

Li, C., 2000, Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 58:259-276.

Stange, F., Butterbach-Bahl, K., Papen, H., Zechmeister-Boltenstern, S., Li, C., Aber, J., 2000, A process-oriented model of N<sub>2</sub>O and NO emission from forest soils 2, Sensitivity analysis and validation, *J. Geophys. Res.* Vol. 105 , No. 4 , p. 4385-4398.

Plant R.A.J., 2000, Regional analysis of soil-atmosphere nitrous oxide emissions in the Northern Atlantic Zone of Costa Rica. *Global Change Biology*, 6:639-653.

Li, C., 1999, The challenges of modeling nitrous oxide emissions, In: *Reducing nitrous oxide emissions from agroecosystems* (Eds. Raymond Desjardins, John Keng and Karen Haugen-Kozyra, P.Ag.), International N<sub>2</sub>O Workshop, held at Banff, Alberta, Canada, March 3-5, 1999.

Xiu WB, Hong YT, Chen XH, Li C, 1999, Agricultural N<sub>2</sub>O emissions at regional scale: A case study in Guizhou, China. *Science in China* 29:5. (in Chinese with English abstract)

Smith, W.N., R.L. Desjardins, and E. Pattey, 1999. Testing of N<sub>2</sub>O models and scaling up emission estimates for crop production systems in Canada. Eastern Cereal and Oilseeds Research Centre. In: *Reducing nitrous oxide emissions from agroecosystems* (Eds. Raymond Desjardins, John Keng and Karen Haugen-Kozyra, P.Ag.), International N<sub>2</sub>O Workshop, held at Banff, Alberta, Canada, March 3-5, 1999, pp. 99-106.



Li, C., Y. Zhuang, X. Wang, J. Sun, and X. Sheng, Scaling up soil carbon prediction: A case study for agricultural land in China, In: *Proceedings of Second LUTEA Workshop at Beijing*, March 2-5, 1998, pp. 87-102.

Frolking S.E., A.R. Mosier, D.S. Ojima et al., 1998, Comparison of N<sub>2</sub>O emissions from soils at three temperate agricultural sites: simulations of year-round measurements by four models. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52:77-105.

Plant R.A.J., E. Veldkamp, C. Li, 1998, Modeling nitrous oxide emissions from a Costa Rican banana plantation, in: *Effects of Land Use on Regional Nitrous Oxide Emissions in the Humid Tropics of Costa Rica* (ed. R.A.J. Plant), Universal Press, Veenendaal, pp. 41-50.

Li, C., S. Frolking, G.J. Croker, P.R. Grace, J. Klir, M. Korchens, and P.R. Poulton, 1997, Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the DNDC model, *Geoderma* 81:45-60.

Smith P., J.U. Smith, D.S. Powlson et al., 1997, A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma* 81:153-225.

Wang, Y.P., C.P. Meyer, and I.E. Galbally, 1997. Comparisons of field measurements of carbon dioxide and nitrous oxide fluxes with model simulations for a legume pasture in southeast Australia. *Journal of Geophysical Research*, 102:28013-28024.

Li, C., V. Narayanan, and R. Harriss, 1996, Model estimates of nitrous oxide emissions from agricultural lands in the United States, *Global Biogeochemical Cycles* 10:297-306.

Li, C., 1995, Impact of agricultural practices on soil C storage and N<sub>2</sub>O emissions in 6 states in the US. In: *Advances in Soil Science* (eds. R.

*Lai et al.*), *Soil Management and Greenhouse Effect*, pp.101-112.

Li, C., S. Frolking, and R. Harriss, 1994, Modeling nitrous oxide emissions from agriculture: A Florida case study, *Chemosphere* 28:1401-1415.

Li, C., S. Frolking, and R.C. Harriss, 1994, Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils. *Global Biogeochemical Cycles* 8:237-254.

Li, C., S. Frolking, and T.A. Frolking, 1992a, A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity, *Journal of Geophysical Research*, 97:9759-9776.

Li, C., S. Frolking, and T.A. Frolking, 1992b, A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 2. Applications, *Journal of Geophysical Research*, 97:9777-9783.