

# 基于土壤植被水文模型的县域夏收作物渍害风险评估

熊勤学

(1. 长江大学农学院, 荆州 434025; 2. 主要粮食作物产业化湖北省协同创新中心, 荆州 434025)

**摘要:** 为开展县级渍害风险评估与区划, 该文利用分布式土壤植被水文模型 (distributed hydrology soil vegetation model, DHSVM), 以天为步长模拟 1970 年至 2014 年每年夏收作物生长期 (3 月、4 月) 的土壤表层水分的空间分布, 结合夏收作物渍害水分指标, 分析监利县各区域受渍害情况, 进一步得到监利县夏收作物受渍害情况的空间分布, 其中无渍害区、轻度渍害区、中度渍害区和重度渍害区分别占监利县农田面积的 2.7%、55.7%、26.5% 和 15.1%。该研究结果为监利县渍害精准治理、农作物产业结构调整与规划提供了基础数据。

**关键词:** 模型; 水分; 作物; DHSVM 模型; 渍害; 风险区划

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.21.023

中图分类号: S127

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-21-0177-07

熊勤学. 基于土壤植被水文模型的县域夏收作物渍害风险评估 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 177—183. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.21.023 <http://www.tcsae.org>

Xiong Qinxue. Risk evaluation of sub-surface waterlogging of summer crops based on DHSVM model on county scale[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(21): 177—183. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.21.023 <http://www.tcsae.org>

## 0 引言

渍害是指地下水位过高或耕作层土壤含水率过大, 土壤水饱和区侵及根系密集层, 使根系长期缺氧, 造成农作物生长发育不良而减产的一种农业气象灾害<sup>[1]</sup>。渍害主要与大气降水、土壤物理属性、地下水位、地形、排灌条件、耕作制度以及农作物抗渍能力等因素相关。湖北省监利县就是一个典型的渍害重灾区, 特别是夏收作物 (小麦与油菜), 据统计, 受渍害影响的农田面积占总耕地面积的 40.6%。与同类地区丰产田相比, 渍害导致油菜产量减产 40%~60%、小麦减产 50%~70%, 灾害严重的年份甚至绝收, 渍害成为阻碍地区农业持续稳定发展的主要限制因子。与此同时, 由于渍害产生的土壤潜育化、沼泽化过程仍在继续<sup>[2]</sup>。因此分析监利县夏收作物受渍害影响程度, 并对其进行渍害风险评估与区划是提高监利县防渍害能力, 提高农业生产力的基础。

对渍害风险评估与区划研究不多, 国内主要为基于气象要素构建渍害的分级指标进行风险评估与区划, 如吴洪颜等<sup>[3]</sup>运用能较好地反映冬小麦春季湿渍害特征的 3 个气象要素 (旬降雨量、旬日照时数和旬雨日), 构建冬小麦湿渍害风险指数模型, 并利用所建风险指数模型对江苏省冬小麦的湿渍害风险进行了区划和评估; 盛绍学<sup>[4]</sup>采用同样的方法综合考虑降水量、降水日数和日照要素后确定了冬小麦渍害的分级指标, 构建了反映冬小麦渍害程度的评估模型并进行了区划和评估。这种仅考

虑气象条件和指标构建法在大尺度风险评估与区划中适用, 但对于县级等中小尺度气象要素水平空间分布不明显的条件下进行风险评估与区划并不合适。国外对渍害风险评估与区划主要运用水文模型, 如 Singh A<sup>[5-9]</sup>成功运用 SGMP (standard groundwater model program) 模型与 SaltMod (soil salinity model) 模型以季节为单位模拟出印度哈里亚纳邦 50 万 hm<sup>2</sup> 因灌溉生成渍害田的地下水位空间分布及时间变化, 并根据模型模拟不同灌溉条件下地下水位变化特征和作物反应, 提出不同级别区划地区减少渍害和保证农作物产量下的灌溉计划, Singh A<sup>[10-11]</sup>成功将 SAHYSMOD 模型 (spatial agro-hydro-salinity model) 引入渍害田地下水位变化模拟与渍害调控规划中, 尽管 SAHYSMOD 模型有着输入参数少, 在灌溉计划的调节与控制上有很好的表现, 但由于 SAHYSMOD 模型以季节为单位、1024 个模拟单元的限制大大制约了其时空精度。

基于地面高程所划分的分布式水文模型<sup>[12]</sup>, 能模拟流域每个单元中的水运动, 而且考虑了单元之间各要素相互影响, 因此能准确高精度反演农田水分的空间分布及变化规律。DHSVM 模型 (distributed hydrology soil vegetation model) 是美国华盛顿大学西北太平洋国家实验室于 1994 年提出的一种分布式水文模型<sup>[13-14]</sup>。它综合考虑了蒸散、地面降雪和融雪、冠层截雪和积雪融化、不饱和土壤水运动、饱和土壤水运动、饱和壤中流、饱和坡面流、河道流量演算、植被阴影等要素影响。广泛地应用于生产实践和研究领域<sup>[14]</sup>, 如水文分析和模拟<sup>[15-17]</sup>、环境与水文的相互作用<sup>[18-20]</sup>、气候变化对水资源的潜在影响等。DHSVM 模型与其他水文模型, 如 SHE 模型 (system hydrological European model)、TOPMODEL 模

型 (topography based hydrological model)、SWAT 模型 (soil and water assessment tool model) 相比, 其模块化结构使得每个模块代表一个物理过程, 物质能量平衡完全基于物理过程, 无经验概念, 适于拓展流域研究的时间尺度及在无资料地区进行水文研究<sup>[21]</sup>; DHSVM 模型较 SAHYSMOD 模型模拟步长短 (1~24 h), 也较 SWAT 模型简单, 特别是模块分离, 很容易用其他模块取代, 比如 Luz Adriana Cuartas<sup>[22]</sup>用 HAND 模型 (height above the nearest drainage) 取代传统的用高程提取河网信息模型, 使得 DHSVM 模型得以应用到平原湖区, 加上其开源政策势必成为研究农田渍害时空分布及变化规律的理想工具。本文拟运用分布式水文模型 DHSVM 模型, 在输入渍害影响因子 (气象条件、土壤物理属性、地下水位、地形、排灌条件以及耕作制度) 数据下, 通过调参, 以天为步长模拟 1970-2014 年夏收作物生长期间监利县水分的空间分布, 结合夏收作物 (小麦与油菜) 生育生长水分关键期 (3 月与 4 月) 渍害水分指标, 反演渍害的时空分布, 最后根据 45a 渍害时空变化规律, 构建监利县夏收作物渍害风险评估与区划。

## 1 材料和方法

## 1.1 研究区概况

监利县位于湖北省和江汉平原南部，荆江北岸（图1）。监利县南北长 74 km，东西宽 60 km，总面积为 3 508 km<sup>2</sup>，高程一般在海拔 23.00~28.00 m 之间，最高是海拔 76.50 m 的杨林山主峰，最低是海拔 20.50 m 的棋盘乡三徵潭村附近的洪湖西岸至湖心 8 km 处。总地势分布是西、南、北三面较高，中部及东部较低，除东南沿长江边的杨林山、狮子山两座小山丘外，其余为平川。这种三面高、中间低的地形使得监利县自身形成一个独立的水系；监利县境内西部是地势较低的河（湖）滩地，土壤类型是灰潮土；东部为洪湖湖滨洼地，土壤类型是沼泽型水稻土；中部是四湖水系的滨湖洼地，土壤类型为

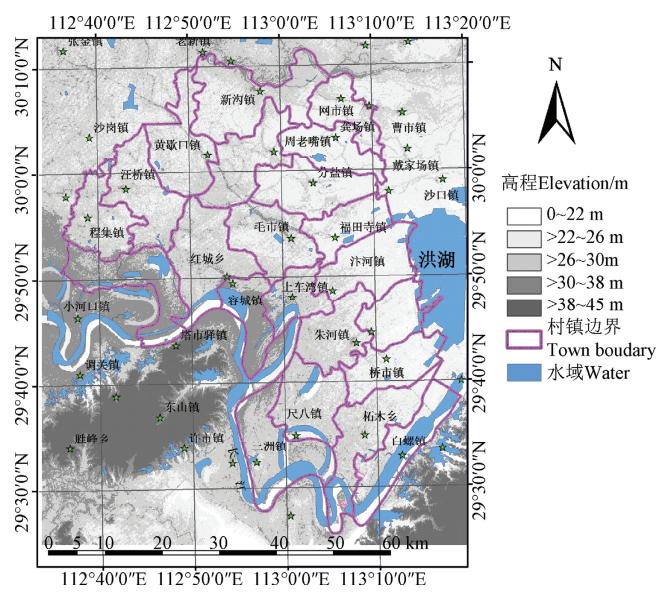


图1 监利县位置及地形图

潜育型水稻土和沼泽型水稻土；南部是长江堤岸河漫坡地，北部为东荆河河堤高亢平地，土壤类型均为灰潮土。监利县属亚热带季风气候区，光能充足、热量丰富、无霜期长。全市太阳年辐射总量为 $4.35\times10^9\sim4.61\times10^9\text{ J/m}^2$ ，年日照时数1800~2000 h，年平均气温15.9~16.6℃，年无霜期242~263 d， $\geq10^\circ\text{C}$ 的积温5171.8℃·d，多年年份降雨量在1100~1300 mm之间。有足够的气候资源供农作物生长。4—10月份降水量占全年80%，太阳辐射量占全年75%， $\geq10^\circ\text{C}$ 的积温为全年80%。

## 1.2 DHSVM 模型介绍

DHSVM 模型是在流域高程 (digital elevation model, DEM) 的栅格单元 (水平分辨率为 10~200 m) 上对土壤湿度、雪盖、蒸发的空间分布以及径流过程进行动态描述 (时间步长为 1~24 h)。以高程的节点为中心, 流域被分成若干栅格单元, 流域的每个栅格都被赋予了各自的土壤特性和植被特性, 在每一个栅格内, 假设地表由植被和土壤组成。每一计算时段内, 模型对流域内各网格的能量平衡方程和质量平衡方程进行联立求解, 各栅格之间则通过坡面流和壤中流的汇流演算发生水文联系。模式主要由 6 个模块组成: ①两层植被模式, Penman-Monteith 方法模拟植被和土壤蒸散发过程; ②能量、质量平衡模式用于模拟积雪、融雪、冻结和升华等过程; ③两层根带模式, 用于模拟水分在未饱和土壤中的运动; ④准三维路径模式, 用于模拟饱和土壤中的壤中流模式结构; ⑤逐网格计算和单位线法计算地面径流, 如果网格内有公路或河道截留则必须采用前者; ⑥采用线性水库演算河道和排水沟的汇流。DHSVM 模型输入、输出参数及处理过程如图 2 所示。

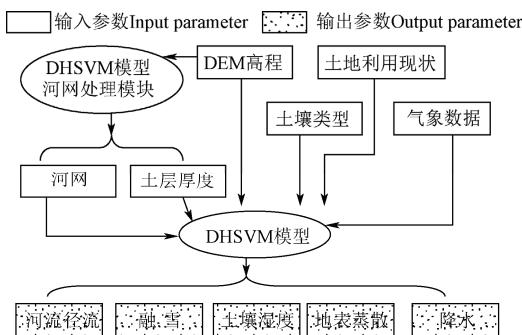


图 2 DHSVM 模型输入、输出参数

### 1.3 DHSVM 模型输入与验证

气象数据主要选取分两个时段，1970 年到 1996 年气象数据选取监利县台站数据，而 1996 年后气象数据选取监利县 22 个自动气象站每小时的气象资料，主要有风速、气温、湿度、小时降雨量等，而太阳辐射和长波辐射数据通过计算而得，参考刘可群等<sup>[23]</sup>的计算方法；DEM 高程数据采用美国太空总署的 SRTM (shuttle radar topography mission) 数据，空间分辨率为  $90 \text{ m} \times 90 \text{ m}$ ，因此整个 DHSVM 模型每个栅格的大小规定为  $90 \text{ m} \times$

90 m; 土壤类型数据来自 1:12 万监利县土壤类型地图, 主要有 3 种土壤类型: 灰潮土、水稻土、黄棕壤土; 土地利用现状数据利用高分一号数据, 采用农作物时序特征提取方法提取得到<sup>[24-25]</sup>; 土地利用现状分类标准采用 GBT 21010—2007 一级分类, 并将耕地类别细化, 具体为城市、中稻(一熟制)、小麦+中稻、油菜+中稻、棉花(一熟制)、小麦+棉花、油菜+棉花、双季稻、树木、水域、空地、其他种植制度等几种类型; 模型中使用的土壤、农作物相关模型参数主要来自文献<sup>[20,26]</sup>和模型缺省数据。2014 年 2 月 13 日至 9 月 23 日在程集自动气象站(项目示范点)设了一个 EM50 土壤水分自动采集系统, 每隔 15 min 自动观测 0~10、>10~20、>20~30 cm 土层的土壤体积含水率, 将 3 个深度的土壤体积含水率取平均, 同时将 1 h 内 4 个观测值取平均为土壤根层体积含水率观测值。

由于缺乏土壤和植被类型的实测参数数据, 本文根据实测土壤根层体积含水率进行参数率定, 如横向饱和导水率、横向饱和导水率随深度的递减指数、田间持水率、最大渗透率等, 调参的方法是将这些参数在模型默认数值上乘以一个修正系数, 这个系数在 0.5~1.5 之间间隔 0.1 分别取值, 并将计算的结果与实测结果进行 Nash-Stucliffe 效率系数  $R^2$  比较, 具体公式为:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_{obs,i} - M_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (M_{obs,i} - \bar{M}_{obs})^2} \quad (1)$$

式中:  $M_{obs,i}$  为实测的土壤体积含水率,  $\bar{M}_{obs}$  为实测土壤体积含水率均值,  $M_{sim,i}$  为模拟的土壤体积含水率。

$R^2$  值越大, 表示模拟选取的参数越接近真实值, 不断调整修正系数, 最后选取  $R^2$  值最大的参数为模型参数。

用均方根误差(root mean square error, RMSE)衡量模型拟合结果, 公式为:

表 1 DHSVM 模型中土壤类型参数设置  
Table 1 Soil types parameters setting in DHSVM model

土壤类型 Soil Type	横向饱和 导水率 Lateral saturated hydraulic conductivity/ (m·s <sup>-1</sup> )	横向饱和导水率随 深度的递减指数 Exponential decrease rate of lateral saturated hydraulic conductivity	最大渗透率 Maximum infiltration rate/(m·s <sup>-1</sup> )	地表反射率 Soil surface albedo	土壤空隙度 Porosity			田间持水率 Field capacity			凋萎系数 Wilting point							
					0~ 0.3 m	>0.3~ 0.6 m	>0.6~ 1 m	0~ 0.3 m	>0.3~ 0.6 m	>0.6~ 1 m	0~ 0.3 m	>0.3~ 0.6 m	>0.6~ 1 m					
灰潮土 Calcareous alluvial soil	0.02	1	3	0.15	0.50	0.48	0.42	0.30	0.31	0.32	0.21	0.21	0.21					
水稻土 Rice paddy soil	0.01	0.1	1.4	0.25	0.5488	0.5288	0.5188	0.32	0.31	0.32	0.135	0.137	0.139					
黄棕壤土 Yellow loam soil	0.03	1.2	2	0.15	0.20	0.22	0.24	0.29	0.31	0.32	0.14	0.14	0.14					
水体 Water	0.01	2	1	0.10	0.08	0.08	0.08	0.36	0.36	0.36	0.27	0.27	0.27					
土壤类型 Soil Type	空隙大小分布 Pore size distribution index			土壤发泡点 Bubbling pressure/m			垂直传导率 Vertical saturated hydraulic conductivity/ (10 <sup>-5</sup> m·s <sup>-1</sup> )			土壤容量 Bulk density/ (kg·m <sup>-3</sup> )			热容量 Soil thermal capacity/ (10 <sup>6</sup> J·(m <sup>3</sup> ·K) <sup>-1</sup> )		土壤导热率 Soil thermal conductivity/ (W·(m·K) <sup>-1</sup> )			
	0~ 0.3 m	>0.3~ 0.6 m	>0.6~ 1 m	0~ 0.3 m	>0.3~ 0.6 m	>0.6~ 1 m	0~ 0.3 m	>0.3~ 0.6 m	>0.6~ 1 m	0~ 0.3 m	>0.3~ 0.6 m	>0.6~ 1 m	0~ 0.3 m	>0.3~ 0.6 m	>0.6~ 1 m			
灰潮土 Calcareous alluvial soil	0.15	0.13	0.13	0.35	0.35	0.35	1.7	1.7	1.7	1 381	1 381	1 381	1.4	1.4	1.4	7.114	6.923	7.000
水稻土 Rice paddy soil	0.22	0.25	0.28	0.22	0.25	0.28	2	2	2	1 160	1 280	1 450	1.4	1.4	1.4	7.114	6.923	6.923
黄棕壤土 Yellow loam soil	0.20	0.22	0.24	0.11	0.11	0.11	1.2	1.2	1.2	1 485	1 485	1 485	1.4	1.4	1.4	7.114	6.923	7.000
水体 Water	0.08	0.08	0.08	0.37	0.37	0.37	1	1	1	1 394	1 394	1 394	1.4	1.4	1.4	7.114	6.923	6.923

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_{obs,i} - M_{sim,i})^2 / n} \quad (2)$$

式中:  $N$  为样本数。RMSE 值越小, 表示模型模拟的效果越好。

#### 1.4 夏收作物渍害辨别标准及风险评估、区划标准

目前公认<sup>[27-28]</sup>判断渍害田的标准是: ①渍害田地下水位埋深浅, 农田枯水期、旱地农作物生长初期地下水位埋深一般小于 60 cm; ②渍害田在淹水期间的透水性差, 一般为 1 mm/d 左右, 有的甚至不渗, 当渗漏量增加时, 渍害程度逐渐减少, 一般把渗漏量为 5 mm/d 作为较理想状态。结合长期在监利渍害研究经验<sup>[29]</sup>, 监利县渍害对夏收作物产量影响最大的时期为 3、4 月, 即为小麦和油菜生育生长期, 当地下水位埋深小于 60 cm, 土壤根层相对体积含水率(土壤含水率占饱和含水率比值)持续 5 d 高于 95%, 认定受到渍害影响。

运用 DHSVM 模型, 以天为步长模拟 1970 年至 2014 年夏收作物生长期每年 3、4 月监利县土壤表层水分的空间分布, 空间分辨率为 90 m, 然后提取每个栅格点这段时间内满足渍害标准的天数, 除以 57 d(3、4 月 5 d 的持续期), 得到此栅格点该年受渍害比率, 其公式为:

$$\text{年受渍害比率} = \frac{\text{受渍天数}}{\text{总日期}-5+1} \quad (3)$$

45 a 取平均后, 获得受渍害比率均值, 以受渍害比率均值大小作为渍害风险评估与区划的标准。

## 2 结果与分析

### 2.1 模型的调参与模拟结果验证

运用 2014 年 2 月 13 日至 2014 年 5 月 20 日程集自动气象站的每小时的土壤体积含水率数据作为观测数据对模型进行调参, 通过不断调整修正系数, 最后选取 Nash-Stucliffe 效率系数最大值 0.746(样本数为 2328)时的参数作为模型确定参数, 见表 1。

其中土壤横向饱和导水率是缺省参数的 1.4 倍，其他参数基本在缺省值土 10% 以内，其主要原因是模型没有考虑排灌设施对水分运动的影响。

基于参数率定后的模型模拟 2014 年 5 月 25 日至 2014 年 9 月 23 日逐时段的土壤水分运行情况，将其第 1 层土壤体积含水率的模拟值与 0~0.3 m 土层土壤体积含水率的观测值对比。降水后当土壤达到过饱和时，土壤中的水分超过 EM50 土壤水分测定仪测定范围，因此去除观测值超过  $0.32 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  部分（土壤达到饱和时，模型设定最大土壤含水率上线，最大田间持水率为  $0.30 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ （潮土）、 $0.32 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ （水稻土）），得到模拟值与观测值时序变化图（图 3），由图 3 可以看出：第一层（0~0.3 m）土壤体积含水率的模拟值与 0~0.3 m 土层土壤体积含水率的观测值变化趋势基本一致，特别是 7、8、9 个月结果较好。模拟时段内所有观测值与模型值的比较结果，两者之间的决定系数  $R^2$  为 0.59(样本数为 2684)，用均方根误差公式计算模拟值与观测值两者拟合程度，得到 RMSE 值为 0.019，说明用 DHSVM 模型模拟监利县土壤墒情的时间变化规律还是比较准确的。

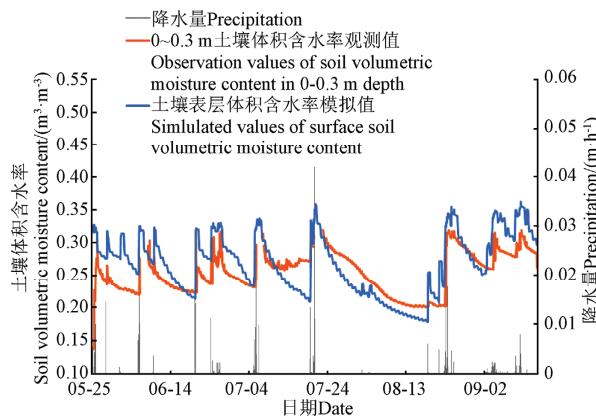


图 3 2014 年 5 月 25 日至 2014 年 9 月 23 日时段内的降水量、土壤体积含水率模拟值与观测值时序变化图

Fig.3 Time series change of precipitation, simulated and observed values of soil surface volumetric moisture content from 2014.05.25 to 2014.09.23

## 2.2 夏收作物渍害区划与风险评估

运用 1970 年 2014 年逐日气象数据，将模拟步长改为 1 d，其他参数不变的情况下，用 DHSVM 模型模拟 45h 每年夏收作物生长期（3 月、4 月）期间内的监利县逐日土壤表层水分的空间分布状况，并用夏收作物渍害辨别标准确定每个单元渍害天数，最后运用式（3）得到 45a 监利县夏收作物受渍害比率均值空间分布图，如图 4 所示。

由图 4 可以看出，监利县夏收作物受渍害比率均值空间差异大，通过对对其进行频率进行分析，结合县多年对渍害田实地调查，确定渍害分区受渍害比率均值的阀值为：0.1、0.3、0.6。即因此根据监利县夏收作物受渍害比率均值的大小将渍害分成 4 类：①无渍害区：将受渍害比率均值 $<0.1$  区域定义为无渍害区，此区域夏收作物基本不受到渍害的影响。②轻度渍害区：

将受渍害比率均值 $\geq0.1\sim0.3$  区域定义为轻度渍害区，此区域夏收作物有时会受到渍害的影响，但次数小，危害程度轻。③中度渍害区：将受渍害比率均值 $\geq0.3\sim0.6$  区域定义为中度渍害区，此区域夏收作物经常受到渍害的影响，对夏收作物产量影响大。④重度渍害区：将受渍害比率均值 $\geq0.6$  区域定义为重度渍害区，此区域夏收作物受到渍害的影响严重，对夏收作物产量有严重的影响，基本不适合夏收作物的种植。

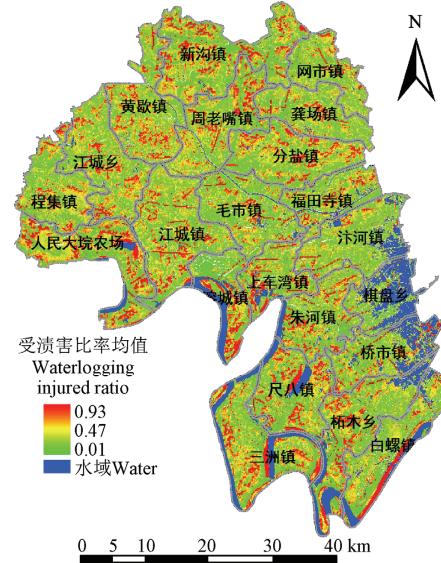


图 4 监利县夏收作物受渍害比率均值空间分布

Fig.4 Spatial distribution map of summer harvest crop damaged ratio by sub-surface waterlogged in JianLi county

按照渍害划分指标：得到监利县夏收作物渍害区划图如下（见图 5）：

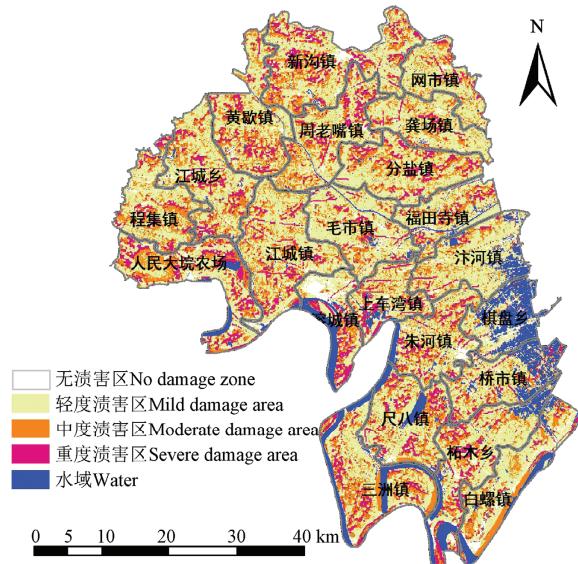


图 5 监利县夏收作物渍害区划空间分布图

Fig.5 Spatial distribution map of summer harvest crops sub-surface waterlogged injury in JianLi county

结合实地调查，每种分区的渍害风险描述为：无渍害区：占监利县农田面积的 2.7%，主要在地势高的地方，很小受到渍害的影响；轻度渍害区：占监利县农田

面积的 55.7%，受渍害的概率为四、五年一遇，主要集中在降水多的年份；中度渍害区：占监利县农田面积的 26.5%，基本上每年都会受到渍害的影响，只是降水较少的年份相对轻一点，而降水较多的年份受渍严重，对

夏收作物产量影响大；重度渍害区：占监利县农田面积的 15.1%，无论每年的降水如何变化，每年都会受到渍害的影响，主要集中在地势比较低和汇水区。

各乡镇 4 个分区的面积及百分比见表 2。

表 2 监利县各乡镇各级别渍害区面积与百分比

Table 2 Crops sub-surface waterlogged injury area and percentage statistical by towns in JianLi county

乡镇 Town	面积 Area/km <sup>2</sup>					水域 Water	百分比 Percentage/%				
	无渍害区 No damage zone	轻度渍害区 Mild damage zone	中度渍害区 Moderate damage zone	重度渍害区 Severe damage zone	总和 Total		无渍害区 No damage zone	轻度渍害区 Mild damage zone	中度渍害区 Moderate damage zone	重度渍害区 Severe damage zone	水域 Water
白螺镇	6.5	71.0	36.2	11.8	151.0	25.6	4.3	47.0	23.9	7.8	16.9
汴河镇	2.7	87.1	25.7	9.4	147.2	22.3	1.8	59.2	17.5	6.4	15.2
程集镇	1.8	69.0	35.7	13.8	122.7	2.3	1.5	56.3	29.1	11.3	1.9
尺八镇	2.7	71.7	33.5	20.5	144.9	16.5	1.9	49.5	23.1	14.2	11.4
分盐镇	0.8	85.3	40.3	20.2	148.5	1.8	0.6	57.5	27.2	13.6	1.2
福田寺镇	1.6	56.8	21.9	10.6	98.6	7.8	1.6	57.6	22.2	10.7	7.9
龚场镇	1.0	70.8	26.5	9.6	110.1	2.2	0.9	64.3	24.1	8.7	2.0
黄歇镇	1.4	83.1	46.4	20.1	155.2	4.3	0.9	53.6	29.9	12.9	2.7
江城乡	1.6	91.5	42.1	19.8	158.8	3.8	1.0	57.6	26.5	12.4	2.4
江城镇	3.4	107.9	48.3	24.5	191.5	7.3	1.8	56.4	25.2	12.8	3.8
毛市镇	2.7	93.1	28.7	13.0	145.6	8.1	1.9	63.9	19.7	8.9	5.6
棋盘乡	3.0	29.0	6.6	5.6	94.5	50.3	3.2	30.7	7.0	5.9	53.3
桥市镇	2.4	55.2	21.1	15.3	123.9	29.9	2.0	44.5	17.0	12.4	24.2
大垸农场	3.9	73.4	42.5	34.3	166.0	11.8	2.3	44.3	25.6	20.7	7.1
溶城镇	9.2	33.4	13.9	17.5	95.3	21.3	9.7	35.1	14.6	18.3	22.3
三洲镇	4.2	75.4	48.1	22.9	189.2	38.6	2.2	39.8	25.4	12.1	20.4
上车湾镇	2.4	41.7	20.1	16.3	87.5	6.9	2.8	47.7	23.0	18.6	7.9
网市镇	1.1	58.9	22.0	8.3	92.3	2.0	1.2	63.8	23.8	9.0	2.2
新沟镇	5.9	111.3	55.8	34.1	211.8	4.8	2.8	52.5	26.3	16.1	2.3
柘木乡	5.6	82.6	34.8	27.4	183.2	32.8	3.0	45.1	19.0	15.0	17.9
周老嘴镇	1.6	80.9	40.2	21.4	146.9	2.9	1.1	55.0	27.4	14.5	2.0
朱河	5.0	64.4	29.2	17.1	125.1	9.4	4.0	51.5	23.3	13.7	7.5

注：表中数据四舍五入到一位小数。Note: Data in table 2 are rounded to one decimal place.

### 2.3 影响夏收作物渍害分区的要素分析

影响夏收作物渍害的因素有大气降水、土壤物理属性、地下水位、地形、排灌条件、耕作制度以及农作物抗渍能力等，其中主要是地形的影响，根据监利地形情况，将监利分成 3 个区域：东部低洼区、中间过渡带、西部高地区，然后将各区划内的高程取均值（表 3），可以看出，四种渍害区平均高程有明显的差异，其中重度渍害区高程最低，依次为中度、轻重和无渍害区，但因为是综合影响的结果，高程低的地方，如果河网密度大，也不是重度渍害区。

表 3 不同位置各渍害区内高程均值

Table 3 Elevation values statistical by different zonation in three regions in JiananLi county

位置 District	区域高程均值 Elevation averages	m			
		无渍害区 No damage zone	轻度渍害区 Mild damage zone	中度渍害区 Moderate damage zone	重度渍害区 Severe damage zone
东部低洼区	24.4	24.8	24.7	24.5	23.7
中间过渡带	27.2	28.4	27.4	26.9	26.4
西部高地区	31.4	32.4	31.9	31.0	30.4

### 3 结论与讨论

本文将分布式土壤植被水文模型 (distributed hydrology soil vegetation model, DHSVM) 引用到县级夏收作物渍害区划研究中，相比利用气候要素单一因子的空间分布区划，其综合考虑了气象条件、地形、农作物类型、土壤类型、水文要素的影响，提高了区划精度。结果表明监利县无渍害区、轻度渍害区、中度渍害区和重度渍害区分别占农田面积的 2.7%、55.7%、26.5% 和 15.1%，对作物渍害影响最主要的因素是地形。

DHSVM 模型应用中，未考虑人类活动对农田水循环的影响，且在本研究中部分参数是采用模型缺省值调参得到，与实际情况可能会有一定误差。因此在下一步研究中，将会综合考虑这些因素，进一步改进模型精度，并分析渍害发生日期、持续时间，作渍害预测与预警。

### [参考文献]

- [1] 朱建强. 易涝易渍农田排水应用基础研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

- [2] 蔡述明, 王学雷, 黄进良, 等. 江汉平原四湖地区区域开发与农业持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 28—64.
- [3] 吴洪颜, 高萍, 徐为根, 等. 江苏省冬小麦渍害的风险区划[J]. 生态学报, 2012, 32(6): 1871—1879.  
Wu Hongyan, Gao Ping, Xu Weigeng, et al. Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(6): 1871—1879. (in Chinese with English abstract)
- [4] 盛绍学, 石磊, 张玉龙. 江淮地区冬小麦渍害指标与风险评估模型研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 263—268.  
Sheng Shaoxue, Shi Lei, Zhang Yulong. Study on waterlogging disaster Index and risk assessment model of winter wheat in Jianghuai region[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin* 2009, 25(19): 263—268. (in Chinese with English abstract)
- [5] Chowdary V M , Chandran R Vi, Neeti N, et al. Assessment of surface and sub-surface waterlogged areas in irrigation command areas of Bihar state using remote sensing and GIS[J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(10): 754—766.
- [6] Singh A. Groundwater modeling for the assessment of water management alternatives[J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 481(2): 220—229.
- [7] Singh A. Validation of SaltMod for a semi-arid part of northwest India and some options for control of waterlogging[J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 115(1): 194—202.
- [8] Groundwater Cell. Groundwater Atlas of Rohtak District[R]. Rohtak, Haryana, India: Department of Agriculture, 2008.
- [9] Singh A, Panda, S N, Flugel W A, et al. Waterlogging and farmland salinization: Causes and remedial measures in an irrigated semi-arid region of India[J]. *Irrigation and Drainage*, 2012, 61(3): 357—365.
- [10] Singh A, Panda S. Integrated salt and water balance modeling for the management of waterlogging and salinization. I: validation of SAHYSMOD[J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2012, 138(11): 955—963.
- [11] Singh A, Panda S. Integrated salt and water balance modeling for the management of waterlogging and salinization. II: application of SAHYSMOD[J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2012, 138(11): 964—971.
- [12] Band L E. Topographic partition of watersheds with digital elevation models[J]. *Water Resources Research*, 1986(2): 15—24.
- [13] Wigmosta M S, Vail LW, Lettenmaier D P. A distributed hydrological-vegetation model for complex terrain[J]. *Water Resource Research*, 1994, 30(6): 1665—1679.
- [14] Wigmosta M S, Nijssen B, Storck P. The distributed hydrological soil vegetation model[C]. Mathematical Models of Small Watershed Hydrological and Applications. Sigh V P: Department of Civil and Environment Engineering Louisiana State University, Water Resource Publications, LLC, 2002.
- [15] 郝振纯, 梁之豪, 梁丽乔, 等. DHSVM 模型在宝库河流域的径流模拟适用性分析[J]. 水电能源科学, 2012(30): 119—129.  
Hao Zhenchun, Liang Zhihao, Liang Lijiao, et al. Adaptability analysis of DHSVM model in runoff simulation of BaoKu river basin[J]. *Water Resources and Power*, 2012(30): 119—129. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王守荣, 黄荣辉, 丁一汇. 分布式水文—土壤—植被模式的改进及气候水文 off-line 模拟试验[J]. 气象学报, 2002, 60(3): 290—300.  
Wang Shourong, Huang Ronghui, Ding Yihui. Improvements of a distributed hydrology model DHSVM and its climatological hydrological offline simulation experiments[J] *ACTA Meteorological Sinica*, 2002, 60(3): 290—300. (in Chinese with English abstract)
- [17] 康丽莉, 王守荣, 顾骏强. 分布式水文模型 DHSVM 对澜江流域径流变化的模拟试验[J]. 热带气象学报, 2008, 24(2): 176—182.  
Kang Lili, Wang Shourong, Gu Junqiang. The simulation test of the distributed hydrological model DHSVM on the runoff change of LanJiang river basin[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2002, 60(3): 290—300. (in Chinese with English abstract)
- [18] Wigmosta M S, Perkins W A. Simulating the effects of forest roads on watershed hydrology[C]. Wigmosta M.S, Burges S J. Influence of urban and forest land use on the hydrologic geomorphic responses of watersheds, American Geophysical Union, 2013:127-143
- [19] Lan Cuo, Thomas W, Giambelluca, et al. Use of the distributed hydrology soil vegetation model to study road effects on hydrological processes in Pang Khum Experimental Watershed, northern Thailand[J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 224: 81—94.
- [20] Mohammad S, Ali F. Hydrologic effect of groundwater development in a small mountainous tropical watershed[J]. *Journal of Hydrology*, 2012, 428/429: 51—67.
- [21] Leung L R, Wigmosta M S, Ghan S J, et al. Application of a subgrid orographic precipitation/surface hydrology scheme to a mountain watershed[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101(D8): 12803—12817.
- [22] Luz A C, Javier T, Antonio D N, et al. Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: Model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model[J]. *Journal of Hydrology* 2012, 462/463: 15—27.
- [23] 刘可群, 陈正洪, 梁益同, 等. 日太阳总辐射推算模型[J]. 中国农业气象, 2008, 29(1): 16—19.  
Liu Kequn, Chen Zhenghong, Liang Yitong, et al. Calculation model for daily global solar radiation[J]. *Chinese Journal of agrometeorology*. 2008, 29(1): 16—19. (in Chinese with English abstract)
- [24] 熊勤学, 黄敬峰. 利用 NDVI 指数时序特征监测秋收作物种植面积[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 144—148.  
Xiong Qinrong, Huang Jingfeng. Estimation of autumn harvest crop planting area based on NDVI[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*(*Transactions of the CSAE*), 2009, 25(1): 144—148. (in Chinese with English abstract)

- [25] 熊勤学, 胡佩敏. 基于 HJ 卫星混合像元分解法的湖北省四湖地区夏收作物种植信息提取[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(6): 869—874.  
Xiong Qinxue, Hu Peimin. Extraction planting information of summer harvesting crop in ShiHu Region from HJ CCD data using unmixing algorithm method[J]. Resources and Environment in the Yngtze Basin, 2014, 23(6): 869—874. (in Chinese with English abstract)
- [26] 吴华山, 陈效民, 叶民标, 等. 太湖地区主要水稻土的饱和导水率及其影响因素研究[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(2): 46—48.  
Wu Huashan, Chen Xiaomin, Ye Minbiao, et al. Study on the soil saturated hydraulic conductivity and the infection factors of the main paddy soils in Tai-lake region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(2): 46—48. (in Chinese with English abstract)
- [27] 喻光明. 江汉平原渍害田生态特征的研究[J]. 生态学报, 1993, 13(3): 252—260.  
Yu Guangming. Stduy on the ecological characteristics of waterlogging field in Jiang Han Plain[J]. Acta Ecologica Sinica, 1993, 13(3): 252—260. (in Chinese with English abstract)
- [28] 陈继元. 渍害低产田判别标准的定量分析[J]. 农田水利与小水电, 1989(4): 13—15.
- [29] 杨威, 朱建强, 吴启侠. 油菜受渍对产量的影响及排水指标研究[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(6): 31—34.  
Yang Wei, Zhu Jianqiang, Wu Qixia. Influence of waterlogging on rape yield components during different growth stages and study on drainage indexes. Journal of Irrigation and Drainage, 2013, 32(6): 31—34. (in Chinese with English abstract).

## Risk evaluation of sub-surface waterlogging of summer crops based on DHSVM model on county scale

Xiong Qinxue

(1. College of Agriculture, Yangtze University, JinZhou 434025, China;  
2. Hubei collaborative Innovation Center for Grain Industry, JinZhou 434025, China)

**Abstract:** Sub-surface waterlogging is one of the main agricultural meteorological disasters affecting summer crops in Jianli County, Hubei Province, China. For sub-surface waterlogging is caused by the long-term influence of high soil moisture on crops, it is not easily identified. Few studies were found on the risk evaluation and zonation of crops injured by sub-surface waterlogging. The researchers of this paper firstly adjusted the parameters of DHSVM (distributed hydrology soil vegetation model) by using soil moisture data collected from February 13 to May 20 in 2014 and verified it with the data collected from May 25 to September 23 in 2014. The result showed that the DHSVM could be used to simulate the soil moisture changes in Jianli County. Based on this model, the influencing parameters of waterlogging injury were input, which included meteorology, soil physical properties, groundwater levels, topography, drainage and irrigation conditions, and the farming system. Then the spatial distributions of soil surface moisture were simulated using the DHSVM with a step of 24 h during the growth seasons (March and April) of summer crops from 1970 to 2014. Also the waterlogging moisture indicators were also used to analyze the injury times of each grid in Jianli County (waterlogging injury occurs when the water level is less than 60 cm and surface soil moisture is higher than 95% of soil saturation for 5 days), and the spatial resolution was 90 m. In this way, the spatial distribution of the sub-surface waterlogging injured ratio (SWIR) was calculated, as well as the indicator of the degree of sub-surface waterlogging injury. According to the different range of SWIR value, the research areas which were at the risk of the sub-surface waterlogging injury, were consequently classified into 4 grades: the severe damage zone (SWIR greater than or equal to 0.6), the moderate damage zone (SWIR greater than or equal to 0.3 and less than 0.6), the mild damage zone (SWIR greater than or equal to 0.1 and less than 0.3), and the damage-free zone (SWIR less than 0.1). Thus the zonation of sub-surface waterlogging injury of summer crops was mapped. With some risk evaluation of each zone, the zonation conformed to the actual situation. Since the method used in this paper is based on the model and all the damage factors are taken into account, it is more accurate than the division only using the meteorological elements and proved to be an applicable method for the zonation of sub-surface waterlogging injury on the county scale.

**Key words:** models; moisture; crops; DHSVM model; sub-surface waterlogging; risk evaluation and zonation