doi: 10.6046/gtzyyg.2018.01.25

引用格式:王俊霞,朱秀芳,刘宪锋,等.基于多源遥感数据的旱情评价研究——以河南省为例[J].国土资源遥感,2018,30 (1):180-186. (Wang J X, Zhu X F, Liu X F, et al. Research on agriculture drought monitoring method of Henan Province with multi - sources data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(1):180-186.)

基于多源遥感数据的旱情评价研究 ——以河南省为例

王俊霞1,朱秀芳2,3,4,刘宪锋5,潘耀忠1,3,4

 (1.北京师范大学遥感科学国家重点实验室,北京 100875; 2.北京师范大学地表过程与资源生态国家 重点实验室,北京 100875; 3.北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室,北京 100875;
 4.北京师范大学北京市陆表遥感数据产品工程技术研究中心,北京 100875;

5. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

摘要:以河南省为研究区,利用 2005—2014 年间的 EOS – MODIS 地表温度产品 MOD11A2、植被指数产品 MOD13A3 以及热带降水测量任务(tropical rainfall measuring mission,TRMM)的月降水速率数据集 TRMM3B43,计算 了植被状态指数(vegetation condition index,VCI)、温度状态指数(temperature condition index,TCI)以及降水状态指数(tropical rainfall condition index,TRCI),同时结合土地利用类型数据及气象站点数据,通过层次分析法确定权重, 构建了农业干旱指数监测模型。在此基础上,利用标准化降水指数(standardized precipitation index,SPI)对模型进 行验证,并根据 SPI 的等级划分确定构建的农业干旱指数监测模型的划分等级。以 2014 年为例,应用构建的农业 干旱指数对河南省干旱情况进行时空分析。结果表明,构建的农业干旱指数监测模型能够有效监测河南省干旱时 空变化特征,具有较好的监测效果。

关键词:多源遥感数据;农业干旱指数;旱情评价;河南省

中图法分类号: TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1001 - 070X(2018)01 - 0180 - 07

0 引言

干旱是由水分收支或供求不平衡所形成的水分 亏缺现象^[1]。国际上通常将干旱分为4类,分别是 气象干旱、农业干旱、水文干旱和经济社会干旱^[2], 其中农业生态系统受干旱的影响最为严重^[3]。气 候变化及其对水资源和粮食产量的影响将成为21 世纪全球各国需要共同应对的科学问题。干旱指标 是干旱研究的基础,从20世纪90年代中期至今发 展出了近百种干旱指数^[2]。初期干旱指数主要是 基于气象站点的实测数据建立的,运用较为广泛的 有帕默尔干旱指数、标准化降水指数和标准化蒸散 指数等;20世纪90年代末期,以遥感数据为基础的 干旱指数开始涌现,包括植被状态指数(vegetation condition index,VCI)、植被供水指数和温度植被干 旱指数等。 由于单一要素很难反映农业干旱综合信息,近 年来,国内外学者尝试综合多种遥感数据来构建综 合干旱指数,提高干旱监测的精度。其中,Rhee 等^[4]利用地表温度(land surface temperature,LST)、 归一化植被指数(normalized difference vegetation index,NDVI)和热带降水测量任务(tropical rainfall measuring mission,TRMM)的降水量数据,通过线性 加强组合的方式构建了适合于干旱和湿润地区的干 旱监测指数;Hao等^[5]在系统对比不同干旱监测指 标的基础上,提出了多变量干旱监测指标,该指标综 合了降水和土壤水分等信息,被验证为有效的干旱 监测指标;Zhang等^[6]将微波数据用于干旱监测, 通过枚举的方式设置权重,构建出一系列适合于不 同区域以及不同时间尺度的干旱指数;Tadesse 等^[7]首次将数据挖掘技术运用于干旱监测。

然而,由于干旱受自然条件及人类活动等多重 因素的影响,具有复杂性及不确定性,目前尚未形成

通信**作者方数据**5(1982-),女,副教授,主要从事农业遥感研究。Email: zhuxiufang@ bnu. edu. cn。

收稿日期: 2016-08-23;修订日期: 2016-11-07

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目"服务于快速理赔的农作物灾害损失遥感评估方法研究"(编号:41401479)和国家高分辨率对地观测系统重大专项基金资助项目(民用部分)共同资助。

第一作者:王俊霞(1993-),女,硕士研究生,主要从事灾害遥感研究。Email: jx_wang@ outlook.com。

适合不同区域和不同尺度的有效干旱监测模型。本 文采用 TRMM 降水、LST 和 NDVI 等多源遥感数据 对河南省进行于旱评价研究,以期为建立适合特定 区域的干旱监测模型提供方法借鉴。首先,综合考 虑降水、LST 及植被生长状况,分别计算 VCI、温度 状态指数(temperature condition index, TCI)以及降 水状态指数(tropical rainfall condition index, TRCI)3 个遥感参量:其次,利用气象站点月平均降水量数 据得到 2014 年的标准化降水指数(standardized precipitation index, SPI),结合土地利用类型数据确定 三者的权重;然后,通过线性加权求和的方式,构建 农业干旱指数(agricultural drought index, ADI),利用 SPI 对模型进行验证,计算3组权重得到的3个农业 干旱指数与 SPI 的相关系数,确定出一个最为合适 的农业干旱指数,并根据 SPI 的等级划分所构建的 农业干旱指数划分等级;最后,以2014年为例,应 用构建的农业干旱指数对河南省的干旱情况进行定 性分析。

1 数据源

1.1 MODIS 数据

MODIS 是搭载在 Terra 和 Aqua 卫星上的一个 重要的传感器。MODIS 产品可以分为大气标准数 据产品、陆地标准数据产品和海洋标准数据产品 3 大标准数据产品,这 3 大类产品又可以细分为 44 小 类。本研究主要采用的是 2005—2014 年间空间分 辨率为 1 km 的陆地标准数据产品,包括地表温度产 品 MOD11A2 及植被指数产品 MOD13A3。

1.2 TRMM 数据

TRMM 卫星是美国地球探测系列卫星的组成部分^[8],该卫星搭载了5个传感器,分别是测水雷达、 雷电图像仪、微波图像仪、云和地球辐射能量感应器 以及可见光和红外扫描仪。本文采用的 TRMM3B43数据集是空间分辨率为0.25°×0.25° 格点的月降水速率数据集,覆盖范围为全球S50°~ N50°地带。该数据以HDF格式进行存储,产品包含 2层,分别是降水量和相对误差。选取2005—2014 年间的TRMM3B43降水数据作为河南省农业干旱 监测模型构建的一个因子。

1.3 其他数据资料

研究过程中还利用了中国气象数据网下载的 1980—2014年间河南省范围内具有代表性的20个 气象站点月平均降水量数据。舍弃数据不连续的气 象站点并综合考虑气象站的空间分布特征,最终选 取了安阳万新数据;门峡、卢氏、孟津、栾川、郑州、许 昌、开封、西峡、南阳、宝丰、西华、驻马店、信阳、商丘 和固始共 17 个气象站的数据。

此外,还采用了从地理国情监测云平台获取的 河南省土地利用类型图,从 Google Earth 上获取的 底图、从地理空间数据云获取的 30 m 空间分辨率的 数字高程模型数据以及全国 1:400 万比例尺基础地 理信息数据在内的其他辅助数据。

2 农业干旱监测模型构建

综合考虑植被生长状况、地表温度及降水量,选取 VCI,TCI 以及 TRCI 作为遥感参量因子。气象参量选取了不同时间尺度的 SPI。权重的确定采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)。

2.1 遥感参量计算

2.1.1 VCI

绿色植被敏感波段的反射率会随植被状态的变 化而变化,从而在遥感影像上被探测出来^[9]。据统 计,国内外 20 世纪 90 年代末期植被指数就已经多 达几十种^[10],本文选取了 Kogan^[11]1995 年提出的 VCI,以及 NDVI 来反映农作物的长势情况,即

$$VCI = \frac{NDVI_i - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} , \qquad (1)$$

$$NDVI = \frac{\rho_{\rm nir} - \rho_{\rm red}}{\rho_{\rm nir} + \rho_{\rm red}} , \qquad (2)$$

式中: ρ_{nir} 和 ρ_{red} 分别表示地物在近红外波段和红光 波段上的反射率; NDVI_i 表示目标年份第 *i* 月的 NDVI; NDVI_{min}和 NDVI_{max}分别表示多年时间序列中 第 *i* 月份 NDVI 的最大和最小值。因此,利用 NDVI_{max} 减 NDVI_{min},通过多年的 NDVI 数据求取第 *i* 月多年 间 NDVI 的最大变化范围,反映了当地植被的生长 环境; NDVI_i 减 NDVI_{min}在一定意义上表示了目标年 份第 *i* 月研究区的植被信息,值越小表示目标年份 该月作物长势越差。

2.1.2 TCI

已有研究表明植被冠层温度可以作为发生干旱的指示器^[12]。TCI强调了温度与植物生长的关系,原理是植被冠层或土壤表面温度随着水分胁迫的增加而增加,不受作物生长季节的限制,适用于长时间序列及大区域的相对干旱监测^[13]。其计算公式为

$$TCI = \frac{LST_{\max} - LST_i}{LST_{\max} - LST_{\min}} , \qquad (3)$$

式中: LST_i 表示目标年份第 i 月的 LST; LST_{min} 和 LST_{max} 分别表示多年时间序列中第 i 月份 LST 的最

大和最小值。TCI 越小表示目标年份该月越干旱。 2.1.3 TRCI

降水在全球水与能量循环中起着重要作用,反 映了天气和气候的变化特征^[14]。TRMM3B43 是月 降水速率数据集,mm·h⁻¹。马苏^[15]参考 Kogan 提 出的 VCI 和 TCI,对 TRMM 数据进行相应变换处理, 定义了 TRCI,并用于洞庭湖流域的农业干旱遥感监 测研究,取得了较好的结果,即

$$TRCI = \frac{TRMM_i - TRMM_{\min}}{TRMM_{\max} - TRMM_{\min}} , \qquad (4)$$

式中: *TRMM*_{*i*} 为目标年份第*i*月的 *TRMM*; *TRMM*_{min}和 *TRMM*_{max}分别为多年时间序列中第*i*月 份 *TRMM* 的最大和最小值。*TRCI* 越小,表明目标年 份该月降水越少。

2.2 气象参量计算

通常一个地区某段时间的干旱程度,主要决定 于降水量与平均状态相比的偏少程度,而不在于当 地平均水量的大小^[16]。SPI 是由 McKee 等^[14]于 1993 年提出的一种计算过程简便、时间尺度灵活、 对区域干旱反应敏捷、在不同时间尺度以及不同区 域都具有可比性的气象干旱指数,适合于月以上尺 度的干旱监测与评估。

本文从中国气象数据网下载了河南省 17 个气 象站点 1980—2014 年间的月平均降水量数据,对目 标年份多时间尺度的 SPI 进行计算,得到目标年份 时间尺度为 30 d 的标准化降水指数 SPI - 1 以及时 间尺度为 90 d 的标准化降水指数 SPI - 3。

2.3 模型构建

综合植被指数、地表温度以及降水数据,选取了 3个变化范围为[0,1]的无量纲量指数作为遥感指标,分别为 VCI,TCI及 TRCI。定义 ADI 为

$$ADI = aVCI + bTCI + cTRCI \quad , \tag{5}$$

式中a,b和c为权重系数,三者之和为1。

为了确定权重系数,利用气象参量 SPI-1 和 SPI-3 确定三者的相对重要性,之后使用 AHP 法, 根据 SPI 确定出来的相对重要性,构造判断矩阵,最 终确定权重。

2.3.1 指标权重的确定

各指标权重的确定采用 AHP 法,该方法是 20 世纪 70 年代由美国运筹学家 Saaty 提出的决策分析 方法^[17]。构建权重具体步骤如下:

1)判断各因素重要性并构建判断矩阵。采用 AHP 法中的层次单排序。构造判断矩阵时,需要对 各因素相对重要性进行判断,然后结合5级标度法 构造判断互体数据

表1 5级标度法及其含义

Tab.1 Meaning of five scales method

标度	定义(比较因素 N _i 与 N _j)
1	因素 N _i 与 N _j 同样重要, N _{ij} 取值为 1
3	因素 N _i 比 N _j 明显重要, N _{ij} 取值为 3
5	因素 N _i 比 N _j 绝对重要, N _{ij} 取值为5
2,4	上述相邻判断的中间值

由 5 级标度法及其含义可知,为了使判断矩阵 更具有说服力,需要合理地判断 3 个指数的相对重 要程度。首先,计算 VCI,TCI 和 TRCI 3 个指数与 SPI 的相关系数,将相关系数作为确定 3 个指数的 相对重要性的参考之一; 然后,结合已有的研究及 各指数的特点,最终确定相对重要性;最后,结合 5 级标度法构建判断矩阵。

计算相关系数时,需要将遥感数据和气象站点 数据进行关联,以 2014年的数据作为实验数据,首 先利用 ArcGIS 将 VCI、土地利用数据、TCI、气象站 点与 TRCI 进行空间叠加^[18];其次,参考土地利用 图,在每一个气象站点附近的农田区域新建一个矢 量点,将该点图层命名为 farm – point;然后,利用 ArcGIS 中的邻域统计功能,以新建的农田区域中各 矢量点为中心,选取 3 × 3 的像元窗口,将每个窗口 内像元各遥感指标的平均值作为与气象站数据匹配 的 MODIS 值,并将得到的值提取至 farm – point 图 层;最后,将数据导出后利用 SPSS 统计软件,分析 17 个气象站点的 SPI 值与对应农田点遥感指标的 相关系数,结果见表2。

表 2 遥感指标和气象参量的相关系数

 Tab. 2
 Correlation coefficients between remote sensing and meteorological parameters

参量	SPI - 1	<i>SPI</i> – 3
VCI	0. 168 * ①	0. 252 * * 2
TCI	0.521 * *	0.275 * *
TRCI	0.848 * *	0.412 * *

① * 为在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ② * * 为在 0.01 水平 (双侧)上显著相关。

由于 SPI 值和 TRMM 都是降水数据,所以时间 尺度为 30 d 的 SPI – 1 与 TRCI 相关系数最高,与 VCI 相关系数最低,相比之下,SPI – 3 更适合作为 VCI 确定权重的参考依据。如果可以得到综合气象 指数或气象站点所在地区的粮食产量,可以用同样 的方法确定相对重要性作为参考。由于数据限制, 在构建判断矩阵时还参考了已有的干旱监测模型。 杜灵通^[9]利用数据挖掘的方法对山东省进行研究 时,得到的一系列综合干旱监测模型,认为在降水异 常指数较小时,TRCI 所占的比例比 LST 要大;而马 苏^[15]在构建的洞庭湖流域干旱状态指数中,最优权 重组合为降水数据和 LST 权重相同, 植被指数所占 权重比前两者低。综合以上研究, 考虑植被指数对 干旱的响应较为滞后, LST 也会受到地表覆盖类型 及混合像元的影响, 而 TRMM 较为实时, 令 ADI - i, VCI, TCI 和 TRCI 分别对应 Ai, B1, B2 和 B3, 考虑到 构造判断矩阵时会受到人为判断的影响, 在参考相 关系数和已有研究的基础上, 构建了 3 组判断矩阵, 将求得的 3 个 ADI - i 与 SPI - 1 和 SPI - 3 进行相关 分析, 通过比较得到最优权重, 以便进一步提高最终 结果的可信度。得到 3 组判断矩阵见表 3—5。

表 3 判断矩阵表(A1) Tab.3 discriminant matrix(A1)

			·
参量	<i>B</i> 1	<i>B</i> 2	<i>B</i> 3
<i>B</i> 1	1	1/3	1/5
<i>B</i> 2	3	1	1/2
<i>B</i> 3	5	2	1

参量	<i>B</i> 1	<i>B</i> 2	<i>B</i> 3
<i>B</i> 1	1	1/3	1/4
<i>B</i> 2	3	1	1/2
<i>B</i> 3	4	2	1

	表 5	¥	钊迷	所矩阵:	表(A	3)		

Tab. 5 discriminant matrix(A3) 参量 R1 R^2 B3 *B*1 1 1/21/3*B*2 2 1 1 *B*3 3 1 1

2)一致性检验。进行一致性检验时,首先要计 算判断矩阵的最大特征根 λ_{max}; 然后,计算一致性 指标 *CI*,表达式为

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$$
, (6)

式中 n 为层次子系统中的指标个数;最后,计算随机一致性比率 CR,表达式为

$$CR = CI/RI$$
 , (7)

式中 *RI* 为随机一致性指标。当 *CR* < 0.1 时,说明 判断矩阵具有满意的一致性;当0.1 < *CR* < 1 时,认 为一致性可以接受。否则,需要重新构建判断矩阵。

3)结果计算。使用 yaahp 层次分析法软件对结 果进行计算,结果表明,A1 的判断矩阵中 $\lambda_{max} =$ 3.003 7,*CR* = 0.003 6 < 0.1,通过一致性检验。得 到的 *ADI* = 1 为

ADI - 1 = 0.11VCI + 0.31TCI + 0.58TRCI。(8) A2 的判断的範疇 $\lambda_{max} = 3.0183, CR = 0.0176 <$ 0.1,通过一致性检验。得到的 ADI - 2 为

$$ADI - 2 = 0.12VCI + 0.32TCI + 0.56TRCI_{\circ}$$
 (9)

A3 的判断矩阵中 λ_{max} = 3.018 3, *CR* = 0.017 6 < 0.1, 通过一致性检验。得到的 *ADI* – 3 为

 $ADI - 3 = 0.17VCI + 0.39TCI + 0.44TRCI_{\circ}$ (10)

将 3 组权重得到的 *ADI* - *i* 与 *SPI* - 1 和 *SPI* - 3 进行相关分析,得到的结果见表 6。

表6 ADI-i和气象参量的相关系数

Tab. 6 Correlation coefficients between ADI - i and

meteorological parameters

参量	<i>SPI</i> – 1	SPI – 3
ADI - 1	0.839 * *	0.430 * *
ADI - 2	0.835 * *	0.429 * *
ADI – 3	0.803 * *	0.426 * *

由表6可知, ADI-1与 SPI-1以及 SPI-3的 相关系数均为最大, 所以本文选取 ADI-1作为最终 的农业干旱指数。

2.3.2 模型验证与等级划分

基于干旱监测相关文献,发现干旱等级阈值的 划分大部分是根据统计原理,以相等间隔或自然间 断点法进行分级,干旱等级的具体含义不是很清楚, 各个结果之间进行比较也较为困难。还有部分学者 根据气象干旱标准对农业干旱情况进行等级划分。 如孙丽等^[19]根据 SPI 干旱等级标准及土壤含水率 对构建的综合干旱指数进行等级划分:李华朋 等^[18]在参考 Lloyd - Hughes 等^[20]研究成果的基础 上,对植被指数监测农业干旱的适应性进行评价的 过程中也采用 SPI 作为判别农业干旱敏感性的标 准,取得理想效果。在中国水利部发布的旱情等级 标准中也指出土壤墒情是判定农业旱情的主要指 标,降水量是评估农业受旱程度的基本指标,对于尚 未建立墒情监测站点的区域可以考虑用降水数据评 估农业旱情^[21]。因此,在综合考虑数据的可获取 性、模型构建的可行性及完整性的情况下,结合其他 学者的研究经验,最终选择根据 SPI 的划分等级对 ADI 进行等级划分。首先,需要提取河南省 17 个气 象站点附近农田点 2014 年各个月份的农业干旱指 数,将其定为因变量;然后,将相应的 SPI-1 的值 定义为自变量,建立一元线性回归方程为

$$y = 0.206 \ 4 \ x + 0.435 \ 2 \quad , \tag{11}$$

把 SPI 干旱等级标准中的分割值带入回归方程中, 将计算结果四舍五入后,得到农业干旱指数的分级 标准。SPI 和 ADI 的干旱等级标准见表7。

表7 SPI 干旱等级标准

Tab. 7 Classification scales of drought for SPI and ADI index

SI I and ADI muck								
序号	等级名称	SPI	ADI					
1	无旱	$(-0.5, +\infty)$	(0.33,1]					
2	轻旱	(-1.0,-0.5]	(0.23,0.33]					
3	中旱	(-1.5,-1.0]	(0.13,0.23]					
4	重旱	(-2.0,-1.5]	(0.02,0.13]					
5	特旱	(-∞, -2.0]	(0,0.02]					

2.4 模型应用

应用干旱监测模型,制作2014年河南省各月干 旱等级图,并统计每个月不同干旱类型所占的像元 数,计算各类干旱所占像元数与总像元数之比,比值 结果为各类干旱面积占总面积的比重,结果见表8。 河南省2014年主要以冬旱和夏旱为主,其次为春 旱。春旱和冬旱主要发生在季节交替的月份,2014 年夏季的干旱具有持续性,6—8月的干旱程度均超 过30%,其中7月份更是高达87.86%,干旱最严重 的月份为1月、3月以及12月。就2014年而言,1 月份和3月份的旱情在次月都得到了有效缓解。而

表 8 基于 ADI 的河南省干旱情况统计

Tab. 8Statistics of drought conditions(%)

月份 -		工目证例				
	特旱	重旱	中旱	轻旱	无旱	「千比例
1	6.94	62.24	25.58	3.23	2.01	97.99
2	0.00	0.10	0.03	0.62	99.23	0.75
3	2.99	46.87	37.10	11.33	1.70	98.29
4	0.00	0.02	0.08	0.20	99.71	0.30
5	0.02	0.72	7.46	19.14	72.66	27.34
6	0.09	2.60	11.07	20.71	65.52	34.47
7	8.90	31.98	26.09	20.89	12.13	87.86
8	1.14	7.62	11.85	16.89	62.50	37.50
9	0.00	0.00	0.03	0.16	99.81	0.19
10	0.00	0.10	1.86	8.13	89.91	10.09
11	0.00	0.11	3.75	12.54	83.61	16.40
12	0.55	34.66	44.50	18.65	1.64	98.36

干旱情况恶化出现在 5—7 月,且旱情并没有及时缓 解,一直持续到 8 月份。由于 6—8 月为夏玉米生长 的关键时期^[8]。因此,本次干旱对河南省农业生产 造成了较为恶劣的影响。以夏季干旱为例,对河南 省旱情空间分布规律进行进一步研究(图 1)。



Fig. 1 Drought map of Henan Province in 2014 monitored by ADI index

由图1可知,河南省6月份干旱地区主要为豫 东的商丘和周口、豫南的信阳、豫北的濮阳以及豫中 的许昌和平顶山;7月份旱情十分严重,除了豫东 和豫南,其余各地区均发生了较为严重的干旱,旱灾 最严重的为洛阳、平顶山、漯河和周口;豫中的干旱

在 8 月份并没有缓解,所以 2014 年夏季,豫中为重 灾区。其他地区较 7 月份有所缓解,濮阳 8 月与 7 月相比,旱情呈加重趋势。

结合河南省防汛抗旱中心发布的土壤墒情简 报,得到2014年6—8月各市旱情发展趋势见表9。

		表 9	河南省 2014 年夏李旱情发展			展趋势		
1 0	ъ	1	1 0		1 4 6 11	n		3014

Tab. 9	Development trend of	summer drought of Henan	Province in 2014
--------	----------------------	-------------------------	------------------

			•		0				
地区	城市	6月	7 月	8月	地区	城市	6月	7 月	8月
豫中	郑州	轻度	+ + + ®	+ + +		济源	轻度	+ + +	* * *
	许昌	轻度	+ + +	+ + +	确责	信阳	中度	= = = 3	* * *
	漯河	无旱	+ + +	* * * ^②	J豕 円	驻马店	轻度	+ + +	* * *
	平顶山	中度	+ + +	* * *		南阳	无旱	+ + +	* * *
	安阳	无旱	+ + +	* * *	袭而	三门峡	无旱	+ + +	= = =
	鹤壁	无旱	+ + +	* * *	136.123	洛阳	中度	+ + +	* * *
務士	新乡	无旱	+ + +	* * *		开封	轻度	+ + +	* * *
131-16	焦作	无旱	+ + +	* * *	豫东	商丘	重度	= = =	* * *
	濮阳	中度	* * *	+ + +		周口	中度	+ + +	* * *
<u> </u>	呈情加重·②*	* * * 呈情缓的		情维持武不变	5				

① + + + 早情加重; ② * * * 早情缓解; ③ = = = 早情维持或不 万方数据 由表9可知,除豫北的濮阳、豫南的信阳以及豫 东的商丘外,其余各市7月份干旱情况都出现了不 同程度的加重,其中许昌、郑州和三门峡的旱情在8 月份仍没有缓解,和利用本文构建的农业干旱指数 模型得到的结果(图1)一致,说明该模型得到的干 旱监测结果和实际情况相符,可用于河南省干旱评 价研究。

3 结论与展望

3.1 结论

1)综合考虑植被信息、陆地表面温度及降水数据,选取 VCI,TCI 和 TRCI 作为构建干旱指数的指标,结合气象站点观测的降水数据,利用 AHP 法将定性思维过程定量化,最终确定 3 个指数的权重,得到农业干旱指数。结果表明,ADI – 1,ADI – 2 以及 ADI – 3 与 SPI – 1 的相关系数分别为 0.839,0.835 和 0.803,其中 ADI – 1 与 SPI – 1 的相关系数最大, 所以最终的干旱监测模型选取 ADI – 1。

2)将本文得到的农业干旱指数用于河南省 2014年旱情分析,结果显示 2014年间河南省多次 发生较为严重的干旱灾害,其中持续的干旱灾害出 现在 5—8月,其中7月份旱情最为严重,重灾区比 例高达 31.98%,各类干旱总比例高达 87.86%。重 灾区主要分布在豫中,洛阳、平顶山、漯河和周口等 地区都出现了较为严重的干旱灾害,与实际情况相 符,本文构建的农业干旱指数可用于河南省干旱评 价研究。

3.2 展望

1)在数据层面,MODIS 数据容易受到云雾的影 响,虽然选用了最大合成法来减少云雾影响,但并没 有完全消除。因此如何有效地避免云雾及大气散射 的影响提高干旱监测精度仍需进一步思考。同时, 本研究所用数据时间跨度为2005—2014年,理论上 选取的数据时间跨度越长,构建的指标精度会越高, 在未来的研究中,将考虑选取不同的时间尺度,利用 相同的技术流程构建遥感综合干旱指数模型,对比 各模型的结果,分析不同时间尺度数据对模型精度 的影响。

2) 在方法层面,利用层次分析法确定 VCI, TCI 和 TRCI 的权重时,本文采取计算各指标与 SPI 的相 关系数,结合已有研究及各指标特点的方法确定其 相对重要性。如果能够获取各站点气象综合干旱指 数及各站点所在地区的标准化单变量也可以通过相 关分析,进一步判断三者的相对重要性。在确定阈 值的过程**开,下都**FSPI-1 是典型的气候干旱指数, 更适合于短期气象干旱监测,所以在获取数据的前 提下,可以考虑引入更多的干旱监测指标,如土壤湿 度数据和作物产量数据,以提高阈值和真实情况的 吻合度。另外,由于干旱成因复杂,受降水、温度、地 表覆盖类型以及人为因素等多方面的影响,很难将 所有因素都加以考虑,因此,之后会尝试综合多种数 据,通过数据挖掘的方式构建一个普适性的干旱监 测指数。

参考文献(References):

 [1] 张强,姚玉璧,李耀辉,等.中国西北地区干旱气象灾害监测 预警与减灾技术研究进展及其展望[J].地球科学进展,2015, 30(2):196-213.
 Zhang Q, Yao Y B, Li Y H, et al. Research progress and prospect

2hang Q, Tao T B, Li T H, et al. Research progress and prospect on the monitoring and early warning and mitigation technology of meteorological drought disaster in Northwest China [J]. Advances in Earth Science, 2015, 30(2):196 – 213.

- [2] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等.农业干旱监测研究进展与展望
 [J].地理学报,2015,70(11):1835-1848.
 Liu X F,Zhu X F,Pan Y Z, et al. Agricultural drought monitor: Progress, challenges and prospect [J]. Acta Geographica Sinica, 2015,70(11):1835-1848.
- [3] 邱海军,曹明明,郝俊卿,等. 1950—2012 年中国干旱灾情频率 规模关系分析[J]. 地理科学,2013,33(5):576 580.
 Qiu H J, Cao M M, Hao J Q, et al. Relationship between frequency and magnitude of drought damage in China in 1950—2010[J]. Scientia Geographica Sinica,2013,33(5):576 580.
- [4] Rhee J, Im J, Carbone G J. Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi – sensor remote sensing data [J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(12):2875 – 2887.
- [5] Hao Z, Aghakouchak A. A nonparametric multivariate multi index drought monitoring framework [J]. Journal of Hydrometeorology, 2014,15(1):89-101.
- Zhang A Z, Jia G S. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi – sensor microwave remote sensing data [J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 134:12 – 23.
- [7] Tadesse T, Wilhite D A, Harms S K, et al. Drought monitoring using data mining techniques; A case study for Nebraska, USA[J]. Natural Hazards, 2004, 33(1):137 – 159.
- [8] 李天祺. 基于 MODIS 陆地产品的河南省旱灾监测方法研究
 [D].北京:北京师范大学,2015.
 Li T Q. Study on Agricultural Drought Monitoring in Henan Province Based on MODIS Products [D]. Beijing: Beijing Normal University, 2015.
- [9] 杜灵通.基于多源空间信息的干旱监测模型构建及其应用研究[D].南京;南京大学,2013.
 Du L T. Drought Monitoring Model Based on Multi Source Spatial Information and Its Application[D]. Nanjing: Nanjing University, 2013.
- [10] 田庆久,闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展,1998, 13(4):327-333.

Tian Q J, Min X J. Advances in study on vegetation indices [J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 13(4):327 - 333.

- [11] Kogan F N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non homogeneous areas [J]. International Journal of Remote Sensing, 1990,11(8):1405 – 1419.
- [12] 李嘉力,卢远,金健,等. 基于 TVDI 的广西干旱遥感监测研究[J]. 大众科技,2014,16(6):21-23.
 Li J L, Lu Y, Jin J, et al. Drought monitoring in Guangxi based on

TVDI[J]. Popular Science and Technology, 2014, 16(6):21 – 23.

- [13] Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection[J]. Advances in Space Research, 1995, 15(11):91-100.
- [14] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales [C]//Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology. Anaheim, California: American Meteorological Society, 1993.
- [15] 马 苏.洞庭湖流域农业干旱遥感监测研究[D].长沙:湖南师 范大学,2012.

Ma S. Research on the Remote Sensed Monitoring of Agricultral Drought in the Lake Dongting Basin[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2012.

- [16] Theon J S. The tropical rainfall measuring mission(TRMM)[J]. Advances in Space Research, 1994, 14(3):159 - 165.
- [17] 胡明甫. AHP 层次分析法及 MATLAB 的应用研究[J]. 钢铁技

术,2004(2):43-46.

Hu M F. AHP analytic hierarchy process and the application of MATLAB[J]. Iron and Steel Technology, 2004(2):43-46.

- [18] 李华朋,张树清,高自强,等. MODIS 植被指数监测农业干旱的适宜性评价[J].光谱学与光谱分析,2013,33(3):756-761.
 Li H P,Zhang S Q,Gao Z Q, et al. Evaluating the utility of MODIS vegetation index for monitoring agricultural drought[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis,2013,33(3):756-761.
- [19] 孙 丽,王 飞,李保国,等. 基于多源数据的武陵山区干旱监测研究[J]. 农业机械学报,2014,45(1):246-252.
 Sun L, Wang F, Li B G, et al. Study on drought monitoring of Wuling Mountain area based on multi source data[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(1):246-252.
- [20] Lloyd Hughes B, Saunders M A. A drought climatology for Europe [J]. International Journal of Climatology, 2002, 22 (13):1571 – 1592.
- [21] 中华人民共和国水利部. SL 424—2008 旱情等级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社,2009.
 Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL 424—2008 Standard of Classification for Drought Severity[S].
 Beijing; China Water Power Press,2009.

Research on agriculture drought monitoring method of Henan Province with multi – sources data

WANG Junxia¹, ZHU Xiufang^{2,3,4}, LIU Xianfeng⁵, PAN Yaozhong^{1,3,4}

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Normal University and Institute of Remote Sensing and Digital Earth of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100875, China; 2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of

Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. Beijing Engineering Research Center for Global Land Remote Sensing Products, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 5. College

of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Henan Province was therefore chosen as the study area in this paper. The temperature condition index (TCI), vegetation condition index (VCI) and rainfall condition index (TRCI) were calculated by using the EOS – MODIS surface temperature product MOD11A2, vegetation index products MOD13A3 and tropical rainfall measuring mission's monthly rainfall rate data TRMM3B43 from 2005 to 2014. Then an agricultural drought index (ADI) monitoring model was built up by weighing these three indices and the weights were determined by using analytic hierarchy process (AHP) analysis method. Grading indices of ADI were derived in terms of the classification scales of drought for standardized precipitation index (SPI) which were authorized by national standard. Finally, the ADI monitoring model was constructed to analyze the drought situation in Henan Province in 2014. The results indicate that the ADI proposed in this paper can well capture the temporal and spatial characteristics of the drought situation in Henan Province.

Keywords: multi - source RS data; agricultural drought index; drought assessment; Henan Province

⁽责任编辑:陈理)