



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102103077 A

(43) 申请公布日 2011.06.22

(21) 申请号 200910248457.3

(22) 申请日 2009.12.16

(71) 申请人 中国科学院沈阳应用生态研究所  
地址 110016 辽宁省沈阳市沈河区文化路  
72 号

(72) 发明人 王瑞杰 宇万太 覃志豪

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限  
公司 21002

代理人 马驰 周秀梅

(51) Int. Cl.

G01N 21/55(2006.01)

G01N 21/17(2006.01)

G01S 17/89(2006.01)

G06F 17/10(2006.01)

权利要求书 3 页 说明书 9 页

(54) 发明名称

一种基于 MODIS 数据的农业干旱监测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于 MODIS 数据的农业干旱监测方法。该农田干旱监测,利用作物供水指数和降雨距平指数来确定农业旱情指数。在进行旱情监测时利用 MODIS 数据反演植被指数和地表温度,利用植被指数和地表温度计算作物供水指数。利用降水数据计算降水距平指数。最后对旱情指数进行级别划分来确定干旱严重程度。

1. 一种基于 MODIS 数据的农业干旱监测方法,以被监测农田地块所对应的 MODIS 各波段像元的光谱反射率数据为基础;其特征在于:

1) 植被指数的计算:

$$EVI = G \times \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + C_1 \times \rho_{Red} - C_2 \times \rho_{Blue} + L}$$

EVI 为增强植被指数,  $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{Red}$  和  $\rho_{Blue}$  分别为被监测农田地块所对应的 MODIS 的近红外波段、红光波段和蓝光波段像元的光谱反射率;L 为背景调整项; $C_1$  和  $C_2$  为拟合系数;G 为增益因子;在计算 MODIS-EVI 时,  $L = 1$ ,  $C_1 = 6$ ,  $C_2 = 7.5$ ,  $G = 2.5$ ;分别计算出被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的 EVI 数据;

2) 地表温度反演,其计算公式为:

$$T_s = A_0 + A_1 T_{31} - A_2 T_{32}$$

$$A_0 = E_1 a_{31} - E_2 a_{32}$$

$$A_1 = 1 + A + E_1 b_{31}$$

$$A_2 = A + E_2 b_{32}$$

$$A = D_{31} / E_0$$

$$E_1 = D_{32} (1 - C_{31} - D_{31}) / E_0$$

$$E_2 = D_{31} (1 - C_{32} - D_{32}) / E_0$$

$$E_0 = D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}$$

$$C_i = \varepsilon_i \tau_i$$

$$D_i = [1 + (1 - \varepsilon_i) \tau_i]$$

式中  $T_s$  是地表温度 (K),  $T_{31}$  和  $T_{32}$  分别是 MODIS 第 31 和 32 波段的亮度温度,  $A_0$ ,  $A_1$  和  $A_2$  是劈窗算法的参数,  $a_{31}$ ,  $b_{31}$ ,  $a_{32}$  和  $b_{32}$  是常量,在地表温度 0-50°C 范围内分别可取  $a_{31} = -64.60363$ ,  $b_{31} = 0.440817$ ,  $a_{32} = -68.72575$ ,  $b_{32} = 0.473453$ ;然后利用公式分别计算出被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的  $T_s$  数据;

其中  $i$  是指被监测农田地块所对应的 MODIS 影像的第 31 和 32 波段,分别为  $i = 31$  或 32;  $\tau_i$  是被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的波段  $i$  的大气透过率,  $\varepsilon_i$  是被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的波段  $i$  的地表比辐射率。

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{iw} + P_v R_v \varepsilon_{iv} + (1 - P_v) R_s \varepsilon_{is}$$

$\varepsilon_{iw}$ 、 $\varepsilon_{iv}$  和  $\varepsilon_{is}$  分别是被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的水体、植被和裸土在第  $i$  波段的地表比辐射率,分别取  $\varepsilon_{31w} = 0.99683$ ,  $\varepsilon_{32w} = 0.99254$ ,  $\varepsilon_{31v} = 0.98672$ ,  $\varepsilon_{32v} = 0.98990$ ,  $\varepsilon_{31s} = 0.96767$ ,  $\varepsilon_{32s} = 0.97790$ ;  $R_v$  和  $R_s$  分别是被监测农田地块所对应的遥感影像的植被和裸土的辐射比率,计算的  $R_v = 0.99240$ ,  $R_s = 1.00744$ 。  $P_v$  是被监测农田地块所对应的各像元点的植被覆盖率,通过植被指数进行估算:

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}$$

式中 NDVI 是被监测农田地块所对应的各像元点的植被指数,  $NDVI_v$  和  $NDVI_s$  分别是茂密植被覆盖和完全裸土像元的 NDVI 值,通常取  $NDVI_v = 0.674$ ,  $NDVI_s = 0.039$ ;

$$NDVI = \frac{B_2 - B_1}{B_2 + B_1}$$

式中 B1 和 B2 分别是 MODIS 图像第 1 和 2 波段的反射率。

大气透过率与大气水汽含量之间呈现接近线性关系,关系式为

当水汽含量在  $0.4 \sim 2.0 \text{g/cm}^2$  时 :

$$\tau_{31} = 0.99513 - 0.0808w$$

$$\tau_{32} = 0.99376 - 0.11369w$$

当水汽含量在  $2 \sim 4.0 \text{g/cm}^2$  时 :

$$\tau_{31} = 1.08692 - 0.12759w$$

$$\tau_{32} = 1.07900 - 0.15925w$$

当水汽含量在  $4.0 \sim 6.0 \text{g/cm}^2$  时 :

$$\tau_{31} = 1.07268 - 0.12571w$$

$$\tau_{32} = 0.93821 - 0.12613w$$

计算大气水汽含量的公式为 :

$$w = [(\alpha - \ln T_w) / \beta]^2$$

其中  $w$  是被监测农田地块所对应的各像元点的大气水汽含量 ; $T_w$  是被监测农田地块 MODIS 影像第 18 波段所对应的各像元点的反射率与第 2 波段所对应的各像元点的地面反射率的比值,  $\alpha$ 、 $\beta$  是参数,分别取  $\alpha = 0.02$ ,  $\beta = 0.651$  ;

3) 作物供水指数的计算 :

$$VSWI = \frac{EVI}{T_s}$$

式中 VSWI 为被监测农田地块所对应的各像元点的作物供水指数 ;EVI 为被监测农田地块所对应的 MODIS 影像各像元点的增强植被指数 ; $T_s$  为被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的地表温度 ;

4) 对作物供水指数进行标准化 :

$$SDI = (VSWI - VSWI_d) / (VSWI_w - VSWI_d) \times 100\%$$

式中 SDI 是标准化后被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点作物的供水指数,取  $0 \sim 100\%$ ,其中  $SDI = 0$  表示严重干旱, $SDI = 100\%$  表示非常湿润 ; $VSWI_d$  和  $VSWI_w$  分别为最早时和最湿润时的作物供水指数 ;EVI 的分级步长可设为  $d$ ,当  $d = 0.05$  时,适宜作物生长的温度空间为  $20^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$  时,  $VSWI_d = (n \times d) / 45$ ,  $VSWI_w = (n \times d) / 20$ ,  $n$  为增强植被指数步长的个数,  $n \geq 1$  的正整数。对于农田生态系统,  $VSWI_d$  和  $VSWI_w$  在适宜生长的温度下的值分别为 :

EVI	$VSWI_d$	$VSWI_w$	EVI	$VSWI_d$	$VSWI_w$
<0.05	0.11	0.25	0.35-0.4	0.89	2.0
0.05-0.1	0.22	0.5	0.4-0.45	1.0	2.25
0.1-0.15	0.33	0.75	0.45-0.5	1.11	2.5
0.15-0.2	0.44	1.0	0.5-0.55	1.22	2.75
0.2-0.25	0.56	1.25	0.55-0.6	1.33	3.0
0.25-0.3	0.67	1.5	0.6-0.65	1.44	3.25
0.3-0.35	0.78	1.75	0.65-0.7	1.56	3.5

5) 降水距平指数的计算

$$SRI = \frac{R}{2R_w} \times 100\%$$

式中 SRI 为被监测农田地块各像元点的降水距平指数, SRI 越大越湿润; R 为当旬降雨量;  $R_w$  为多年当旬降雨量平均值, 在本方法中取最近 10 年的当旬降雨量平均值。当  $R > 2R_w$  时为极端湿润, 取  $SRI = 100\%$ ,  $R > R_w$  时为正常, 取  $SRI = 50\%$ , R 小于多年平均的一半时, 为极度干旱, 此时 SRI 取值为  $0 \sim 25\%$ 。

干旱是较长时间缺雨的气象现象, 一旬以内的缺雨并不一定出现干旱, 一旬以上时间的缺雨才会产生干旱问题, 因此需要同时考虑前期的降雨量。本方法考虑了最近 8 旬的降雨影响, 从而计算出综合降水距平指数, 其公式为:

$$SMRI = A_0 \times SRI_0 + A_1 \times SRI_1 + A_2 \times SRI_2 + A_3 \times SRI_3 + \dots + A_8 \times SRI_8$$

#### 6) 确定农业旱情指数

$$DI = B_1 \times SDI + B_2 \times SMRI$$

式中 DI 为被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的农业旱情指数, 它是作物供水指数和降水距平指数的偶合, 取  $0 \sim 100\%$ ,  $DI = 0$  表示非常干旱,  $DI = 100\%$  表示非常湿润; SDI 是标准化供水指数,  $B_1$  是其权重, 取 0.6; SMRI 是考虑多旬降雨因素的干旱指数,  $B_2$  是其权重, 取 0.4;  $B_1, B_2$  的权重取值是根据 SDI 的取值与实际情况最为相符。然后根据级别划分标准, 判断干旱的程度;

在此处,  $1\% \leq DI \leq 15\%$  为重旱,  $15\% < DI \leq 30\%$  为中旱,  $30\% < DI \leq 50\%$  为轻旱,  $50\% < DI \leq 70\%$  为正常,  $70\% < DI \leq 100\%$  为湿润。

2. 根据权利要求 1 所述方法, 其特征在于: 要得到 EVI、 $T_s$ 、VSWI 和 SDI 参数, 对所选波段的遥感数据进行统一的预处理, 主要包括按常规方法进行辐射量计算、几何校正、云检测、投影转换, 以便进一步进行匹配计算; 在计算降水距平指数时, 首先应将降雨数据进行插值处理, 得到降水距平图; 插值完成后统一转成栅格数据, 以便与遥感数据对比分析。

## 一种基于 MODIS 数据的农业干旱监测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种农田干旱监测方法。

### 背景技术

[0002] 干旱的发生过程是潜在的,不容易发现;农田干旱的发生特征是影响范围大,带来严重的灾难性后果和经济损失;研究、评价干旱发生和发展的过程,可以采取相应的抗旱防灾减灾措施,减少农业灾害损失。随着遥感技术的发展,遥感以其动态、实时、多光谱、廉价的优势,为旱情监测开辟了新的途径。遥感获取的植被指数和地表温度是描述地球表面特征的两个十分重要参数,因此干旱发生时,可通过植被指数或地表温度的变化来揭示作物生理异常特征,间接反映农田水热胁迫状况。按照遥感数据所使用的波段可分为:可见光、近红外、热红外、微波等。由于所使用的波段不同,产生了众多模型和方法。如水分亏缺指数模型、温度植被干旱指数模型等。虽然用于农业旱灾监测的模型很多,但大多数只是实验性的研究。因此探索一种相对精确的农田干旱监测方法非常必要。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种利用遥感技术进行地表干旱监测的新方法,该农田干旱监测,利用作物供水指数和降雨距平指数来确定农业旱情指数。在进行旱情监测时利用 MODIS 数据反演植被指数和地表温度,利用植被指数和地表温度计算作物供水指数。利用降水数据计算降水距平指数。最后对旱情指数进行级别划分来确定干旱严重程度。。

[0004] 本发明采用基于植被指数和地表温度的农业干旱监测模型来进行监测,在监测的过程中对模型生态参数进行改进,所表述地表旱情的相应参数按照如下方法确定:以被监测农田地块所对应的 MODIS 各波段像元的光谱反射率数据为基础;

[0005] 一种基于 MODIS 数据的农业干旱监测方法,主要是借助遥感技术手段在大区域尺度上探讨一种客观、动态、实时、准确、易于实现的监测方法。在本方法中采用基于植被指数和地表温度的农业干旱监测模型来进行监测,在监测的过程中对模型生态参数进行改进,所表述地表旱情的相应参数按照如下方法确定:

[0006] 以被监测农田地块所对应的 MODIS 各波段像元的光谱反射率数据为基础;

[0007] 要得到 EVI、 $T_s$ 、VSWI 和 SDI 参数,对所选波段的遥感数据进行统一的预处理,主要包括按常规方法进行(在 ERDAS 或 ENVI 等遥感软件中处理)辐射量计算、几何校正、云检测、投影转换,以便进一步进行匹配计算;在计算降雨距平指数时,首先应将降雨数据进行插值处理,得到降水距平图;插值完成后统一转成栅格数据,以便与遥感数据对比分析。

[0008] 1) 植被指数的计算:

$$[0009] \quad EVI = G \times \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + C_1 \times \rho_{Red} - C_2 \times \rho_{Blue} + L}$$

[0010] EVI 为增强植被指数,  $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{Red}$  和  $\rho_{Blue}$  分别为被监测农田地块所对应的 MODIS 的近红外波段、红光波段和蓝光波段像元的光谱反射率;L 为背景调整项; $C_1$  和  $C_2$  为拟合系

数;G为增益因子;在计算MODIS-EVI时, $L = 1, C_1 = 6, C_2 = 7.5, G = 2.5$ ;分别计算出被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的EVI数据;

[0011] 2) 地表温度反演

[0012] 地表温度是农业旱灾监测的一个基本参数,其计算方法采用覃志豪等(覃志豪,高懋芳,秦晓敏等,农业旱灾监测中的地表温度遥感反演方法-以MODIS数据为例[J].自然灾害学报,2005,14(4):64-71.)提出的基于中大尺度MODIS数据的劈窗算法,其计算公式为:

$$[0013] \quad T_s = A_0 + A_1 T_{31} - A_2 T_{32}$$

$$[0014] \quad A_0 = E_1 a_{31} - E_2 a_{32}$$

$$[0015] \quad A_1 = 1 + A + E_1 b_{31}$$

$$[0016] \quad A_2 = A + E_2 b_{32}$$

$$[0017] \quad A = D_{31} / E_0$$

$$[0018] \quad E_1 = D_{32} (1 - C_{31} - D_{31}) / E_0$$

$$[0019] \quad E_2 = D_{31} (1 - C_{32} - D_{32}) / E_0$$

$$[0020] \quad E_0 = D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}$$

$$[0021] \quad C_t = \varepsilon_i \tau_i$$

$$[0022] \quad D_t = [1 + (1 - \varepsilon_i) \tau_i]$$

[0023] 式中 $T_s$ 是地表温度(K), $T_{31}$ 和 $T_{32}$ 分别是MODIS第31和32波段的亮度温度, $A_0$ , $A_1$ 和 $A_2$ 是劈窗算法的参数, $a_{31}$ , $b_{31}$ , $a_{32}$ 和 $b_{32}$ 是常量,在地表温度0-50℃范围内分别可取 $a_{31} = -64.60363$ , $b_{31} = 0.440817$ , $a_{32} = -68.72575$ , $b_{32} = 0.473453$ ;其他中间参数的计算详见覃志豪等针对MODIS数据的分裂窗算法(覃志豪,高懋芳,秦晓敏等,农业旱灾监测中的地表温度遥感反演方法-以MODIS数据为例[J].自然灾害学报,2005,14(4):64-71.);然后利用公式分别计算出被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的 $T_s$ 数据;

[0024] 其中 $i$ 是指被监测农田地块所对应的MODIS影像的第31和32波段,分别为 $i = 31$ 或 $32$ ;  $\tau_i$ 是被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的波段 $i$ 的大气透过率, $\varepsilon_i$ 是被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的波段 $i$ 的地表比辐射率。

$$[0025] \quad \varepsilon_t = \varepsilon_{iw} + P_v R_v \varepsilon_{iv} + (1 - P_v) R_s \varepsilon_{is}$$

[0026]  $\varepsilon_{iw}$ 、 $\varepsilon_{iv}$ 和 $\varepsilon_{is}$ 分别是被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的水体、植被和裸土在第波段 $i$ 波段的地表比辐射率,分别取 $\varepsilon_{31w} = 0.99683$ , $\varepsilon_{32w} = 0.99254$ , $\varepsilon_{31v} = 0.98672$ , $\varepsilon_{32v} = 0.98990$ , $\varepsilon_{31s} = 0.96767$ , $\varepsilon_{32s} = 0.97790$ ;  $R_v$ 和 $R_s$ 分别是被监测农田地块所对应的遥感影像的植被和裸土的辐射比率,覃志豪等(Qin Z, Karnieli A. Progress in the Remote Sensing of Land Surface Temperature and Ground Emissivity Using NOAA-AVHRR[J]. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20(12):2367-2397.),计算的 $R_v = 0.99240$ , $R_s = 1.00744$ 。 $P_v$ 是被监测农田地块所对应的各像元点的植被覆盖率,通过植被指数进行估算:

$$[0027] \quad P_v = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}$$

[0028] 式中NDVI是被监测农田地块所对应的各像元点的植被指数, $NDVI_v$ 和 $NDVI_s$ 分别是茂密植被覆盖和完全裸土像元的NDVI值,通常取 $NDVI_v = 0.674$ , $NDVI_s = 0.039$ (孙睿,

朱启疆. 植被净第一性生产力模型及中国净第一性生产力的分析 [J]. 北京师范大学学报 (自然科学版), 1998, 34 :132-137.) ;

$$[0029] \quad NDVI = \frac{B_2 - B_1}{B_2 + B_1}$$

[0030] 式中  $B_1$  和  $B_2$  分别是 MODIS 图像第 1 和 2 波段的反射率。

[0031] 大气透过率与大气水汽含量之间呈现接近线性关系, 根据覃志豪等 (

[0032] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. A Mono-window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Data and Its Application to the Israel-Egypt Border Region [J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22 (18) : 3719-3746.) 的研究, 关系式为

[0033] 当水汽含量在  $0.4 \sim 2.0 \text{g/cm}^2$  时 :

$$[0034] \quad \tau_{31} = 0.99513 - 0.0808w$$

$$[0035] \quad \tau_{32} = 0.99376 - 0.11369w$$

[0036] 当水汽含量在  $2 \sim 4.0 \text{g/cm}^2$  时 :

$$[0037] \quad \tau_{31} = 1.08692 - 0.12759w$$

$$[0038] \quad \tau_{32} = 1.07900 - 0.15925w$$

[0039] 当水汽含量在  $4.0 \sim 6.0 \text{g/cm}^2$  时 :

$$[0040] \quad \tau_{31} = 1.07268 - 0.12571w$$

$$[0041] \quad \tau_{32} = 0.93821 - 0.12613w$$

[0042] 计算大气水汽含量的公式为 :

$$[0043] \quad w = [(\alpha - \ln T_w) / \beta]^2$$

[0044] 其中  $w$  是被监测农田地块所对应的各像元点的大气水汽含量 ;  $T_w$  是被监测农田地块 MODIS 影像第 18 波段所对应的各像元点的反射率与第 2 波段所对应的各像元点的地面反射率的比值,  $\alpha$ 、 $\beta$  是参数, 分别取  $\alpha = 0.02$ ,  $\beta = 0.651$  ;

[0045] 3) 作物供水指数的计算 :

$$[0046] \quad VSWI = \frac{EVI}{T_s}$$

[0047] 式中 VSWI 为被监测农田地块所对应的各像元点的作物供水指数 ; EVI 为被监测农田地块所对应的 MODIS 影像各像元点的增强植被指数 ;  $T_s$  为被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的地表温度 ;

[0048] 4) 对作物供水指数进行标准化 :

$$[0049] \quad SDI = (VSWI - VSWI_d) / (VSWI_w - VSWI_d) \times 100\%$$

[0050] 式中 SDI 是标准化后被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点作物的供水指数, 取  $0 \sim 100\%$ , 其中  $SDI = 0$  表示严重干旱,  $SDI = 100\%$  表示非常湿润 ;  $VSWI_d$  和  $VSWI_w$  分别为最早时和最湿润时的作物供水指数 ; EVI 的分级步长可设为  $d$ , 当  $d = 0.05$  时, 适宜作物生长的温度空间为  $20^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$  时,  $VSWI_d = (n \times d) / 45$ ,  $VSWI_w = (n \times d) / 20$ ,  $n$  为增强植被指数步长的个数,  $n \geq 1$  的正整数。对于农田生态系统,  $VAWI_d$  和  $VSWI_w$  在适宜生长的温度下的值分别为 :

	<i>EVI</i>	<i>VSWI<sub>d</sub></i>	<i>VSWI<sub>w</sub></i>	<i>EVI</i>	<i>VSWI<sub>d</sub></i>	<i>VSWI<sub>w</sub></i>
	<0.05	0.11	0.25	0.35-0.4	0.89	2.0
	0.05-0.1	0.22	0.5	0.4-0.45	1.0	2.25
[0051]	0.1-0.15	0.33	0.75	0.45-0.5	1.11	2.5
	0.15-0.2	0.44	1.0	0.5-0.55	1.22	2.75
	0.2-0.25	0.56	1.25	0.55-0.6	1.33	3.0
	0.25-0.3	0.67	1.5	0.6-0.65	1.44	3.25
	0.3-0.35	0.78	1.75	0.65-0.7	1.56	3.5

[0052] 5) 降水距平指数的计算

$$[0053] \quad SRI = \frac{R}{2R_w} \times 100\%$$

[0054] 式中 SRI 为被监测农田地块各像元点的降水距平指数, SRI 越大越湿润; R 为当旬降雨量;  $R_w$  为多年当旬降雨量平均值, 在本方法中取最近 10 年的当旬降雨量平均值。当  $R > 2R_w$  时为极端湿润, 取  $SRI = 100\%$ ,  $R > R_w$  时为正常, 取  $SRI = 50\%$ , R 小于多年平均的一半时, 为极度干旱, 此时 SRI 取值为  $0 \sim 25\%$ 。

[0055] 干旱是较长时间缺雨的气象现象, 一句以内的缺雨并不一定出现干旱, 一句以上时间的缺雨才会产生干旱问题, 因此需要同时考虑前期的降雨量。本方法考虑了最近 8 旬的降雨影响, 从而计算出综合降水距平指数, 其公式为:

$$[0056] \quad SMRI = A_0 \times SRI_0 + A_1 \times SRI_1 + A_2 \times SRI_2 + A_3 \times SRI_3 + \dots + A_8 \times SRI_8$$

[0057] 6) 确定农业旱情指数

$$[0058] \quad DI = B_1 \times SDI + B_2 \times SMRI$$

[0059] 式中 DI 为被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的农业旱情指数, 它是作物供水指数和降雨距平指数的偶合, 取  $0 \sim 100\%$ ,  $DI = 0$  表示非常干旱,  $DI = 100\%$  表示非常湿润; SDI 是标准化供水指数,  $B_1$  是其权重, 取 0.6; SMRI 是考虑多旬降雨因素的干旱指数,  $B_2$  是其权重, 取 0.4;  $B_1, B_2$  的权重取值是根据 SDI 的取值与实际情况最为相符。然后根据级别划分标准, 判断干旱的程度;

[0060] 在此处,  $1\% \leq DI \leq 15\%$  为重旱,  $15\% < DI \leq 30\%$  为中旱,  $30\% < DI \leq 50\%$  为轻旱,  $50\% < DI \leq 70\%$  为正常,  $70\% < DI \leq 100\%$  为湿润。

[0061] 本发明的优点在于:

[0062] 利用 MODIS 遥感数据对大区域的农田进行干旱监测。在监测中对模型参数进行改进, 采用增强植被指数 (EVI) 代替归一化植被指数 (NDVI) 对作物供水指数进行计算。NDVI 和 EVI 都是中分辨率成像光谱仪数据 (MODIS) 选用的植被指数, EVI 作为 NDVI 的继承和对 NDVI 的某些缺陷改进, 综合处理了土壤背景、大气噪声和红光饱和问题。而且 NDVI 的计算是对近红外和红光波段的非线性拉伸, 其结果是增强了低值部分, 抑制了高值部分, 对高植被覆盖区容易出现信号饱和。EVI 则克服了植被高覆盖区易饱和, 植被低覆盖区受土壤植被影响较大的缺点。本发明利用遥感技术进行农田干旱动态监测, 经实际应用检验, 该方法简便、高效、易于操作、结果准确, 能够广泛应用于我国的农田干旱监测之中;

## 具体实施方式

[0063] 以华北地区农田干旱监测为例。研究区主要包括河北、北京、天津、山东、河南、江苏和安徽省。此区为我国主要农业区，主要气象灾害是干旱，其发生频率高，持续时间长，对国民经济有着严重的影响。本区经常出现的是春旱；因此对华北地区 4 月份的旱情进行了监测研究。

[0064] 首先根据研究区范围选择相对应的 MODIS L1B 数据，按常规方法（在 ERDAS 或 ENVI 等遥感数据软件中处理）对所选波段的遥感数据进行统一的预处理，利用遥感软件数据进行几何校正、云检测和投影转换，以便进一步进行匹配计算。然后利用各相应的波段数据分别计算被监测地区各像元点的 EVI、 $T_s$  和作物供水指数。并根据被监测区遥感影像各像元点的 EVI 值的大小选择其所对应的  $VSWI_d$  和  $VSWI_w$  值对作物供水指数进行标准化处理。利用研究区各气象站点的 4 月上、中、下旬的降雨数据计算降水距平指数和综合降雨距平指数；在 ArcGIS 软件里对综合降水距平指数插值，得到能与遥感影像匹配的降水距平指数栅格图。最后根据降水距平指数和标准化的作物供水指数计算农业旱情指数。

[0065] 一种基于 MODIS 数据的农业干旱监测方法，主要是借助遥感技术手段在大区域尺度上探讨一种客观、动态、实时、准确、易于实现的监测方法。在本方法中采用基于植被指数和地表温度的农业干旱监测模型来进行监测，在监测的过程中对模型生态参数进行改进，所表述地表旱情的相应参数按照如下方法确定：

[0066] 以被监测农田地块所对应的 MODIS 各波段像元的光谱反射率数据为基础；

[0067] 1) 植被指数的计算：

$$[0068] \quad EVI = G \times \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + C_1 \times \rho_{Red} - C_2 \times \rho_{Blue} + L}$$

[0069] EVI 为增强植被指数， $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{Red}$  和  $\rho_{Blue}$  分别为被监测农田地块所对应的 MODIS 的近红外波段、红光波段和蓝光波段像元的光谱反射率；L 为背景调整项； $C_1$  和  $C_2$  为拟合系数；G 为增益因子；在计算 MODIS-EVI 时， $L = 1$ ， $C_1 = 6$ ， $C_2 = 7.5$ ， $G = 2.5$ ；分别计算出被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的 EVI 数据；

[0070] 2) 地表温度反演

[0071] 地表温度是农业旱灾监测的一个基本参数，其计算方法采用覃志豪等（覃志豪，高懋芳，秦晓敏等，农业旱灾监测中的地表温度遥感反演方法 - 以 MODIS 数据为例 [J]. 自然灾害学报，2005，14(4)：64-71.）提出的基于中大尺度 MODIS 数据的劈窗算法，其计算公式为：

$$[0072] \quad T_s = A_0 + A_1 T_{31} - A_2 T_{32}$$

$$[0073] \quad A_0 = E_1 a_{31} - E_2 a_{32}$$

$$[0074] \quad A_1 = 1 + A + E_1 b_{31}$$

$$[0075] \quad A_2 = A + E_2 b_{32}$$

$$[0076] \quad A = D_{31} / E_0$$

$$[0077] \quad E_1 = D_{32} (1 - C_{31} - D_{31}) / E_0$$

$$[0078] \quad E_2 = D_{31} (1 - C_{32} - D_{32}) / E_0$$

$$[0079] \quad E_0 = D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}$$

$$[0080] \quad C_i = \varepsilon_i \tau_i$$

$$[0081] \quad D_t = [1+(1-\varepsilon_i)\tau_i]$$

[0082] 式中  $T_s$  是地表温度 (K),  $T_{31}$  和  $T_{32}$  分别是 MODIS 第 31 和 32 波段的亮度温度,  $A_0$ ,  $A_1$  和  $A_2$  是劈窗算法的参数,  $a_{31}$ ,  $b_{31}$ ,  $a_{32}$  和  $b_{32}$  是常量, 在地表温度 0-50℃ 范围内分别可取  $a_{31} = -64.60363$ ,  $b_{31} = 0.440817$ ,  $a_{32} = -68.72575$ ,  $b_{32} = 0.473453$ ; 其他中间参数的计算详见覃志豪等针对 MODIS 数据的分裂窗算法 (覃志豪, 高懋芳, 秦晓敏等, 农业旱灾监测中的地表温度遥感反演方法 - 以 MODIS 数据为例 [J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4):64-71.); 然后利用公式分别计算出被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的  $T_s$  数据;

[0083] 其中  $i$  是指被监测农田地块所对应的 MODIS 影像的第 31 和 32 波段, 分别为  $i = 31$  或  $32$ ;  $\tau_i$  是被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的波段  $i$  的大气透过率,  $\varepsilon_i$  是被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的波段  $i$  的地表比辐射率。

$$[0084] \quad \varepsilon_i = \varepsilon_{iw} + P_v R_v \varepsilon_{iv} + (1 - P_v) R_s \varepsilon_{is}$$

[0085]  $\varepsilon_{iw}$ 、 $\varepsilon_{iv}$  和  $\varepsilon_{is}$  分别是被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的水体、植被和裸土在第波段  $i$  波段的地表比辐射率, 分别取  $\varepsilon_{31w} = 0.99683$ ,  $\varepsilon_{32w} = 0.99254$ ,  $\varepsilon_{31v} = 0.98672$ ,  $\varepsilon_{32v} = 0.98990$ ,  $\varepsilon_{31s} = 0.96767$ ,  $\varepsilon_{32s} = 0.97790$ ;  $R_v$  和  $R_s$  分别是被监测农田地块所对应的遥感影像的植被和裸土的辐射比率, 覃志豪等 (Qin Z, Karnieli A. Progress in the Remote Sensing of Land Surface Temperature and Ground Emissivity Using NOAA-AVHRR [J]. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20(12):2367-2397.), 计算的  $R_v = 0.99240$ ,  $R_s = 1.00744$ 。  $P_v$  是被监测农田地块所对应的各像元点的植被覆盖率, 通过植被指数进行估算:

$$[0086] \quad P_v = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}$$

[0087] 式中  $NDVI$  是被监测农田地块所对应的各像元点的植被指数,  $NDVI_v$  和  $NDVI_s$  分别是茂密植被覆盖和完全裸土像元的  $NDVI$  值, 通常取  $NDVI_v = 0.674$ ,  $NDVI_s = 0.039$  (孙睿, 朱启疆. 植被净第一性生产力模型及中国净第一性生产力的分析 [J]. 北京师范大学学报 (自然科学版), 1998, 34:132-137.);

$$[0088] \quad NDVI = \frac{B_2 - B_1}{B_2 + B_1}$$

[0089] 式中  $B_1$  和  $B_2$  分别是 MODIS 图像第 1 和 2 波段的反射率。

[0090] 大气透过率与大气水汽含量之间呈现接近线性关系, 根据覃志豪等 (

[0091] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. A Mono-window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Data and Its Application to the Israel-Egypt Border Region [J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(18):3719-3746.) 的研究, 关系式为

[0092] 当水汽含量在  $0.4 \sim 2.0 \text{g/cm}^2$  时:

$$[0093] \quad \tau_{31} = 0.99513 - 0.0808w$$

$$[0094] \quad \tau_{32} = 0.99376 - 0.11369w$$

[0095] 当水汽含量在  $2 \sim 4.0 \text{g/cm}^2$  时:

$$[0096] \quad \tau_{31} = 1.08692 - 0.12759w$$

$$[0097] \quad \tau_{32} = 1.07900 - 0.15925w$$

[0098] 当水汽含量在  $4.0 \sim 6.0 \text{g/cm}^2$  时：

$$[0099] \quad \tau_{31} = 1.07268 - 0.12571w$$

$$[0100] \quad \tau_{32} = 0.93821 - 0.12613w$$

[0101] 计算大气水汽含量的公式为：

$$[0102] \quad w = [(\alpha - \ln T_w) / \beta]^2$$

[0103] 其中  $w$  是被监测农田地块所对应的各像元点的大气水汽含量； $T_w$  是被监测农田地块 MODIS 影像第 18 波段所对应的各像元点的反射率与第 2 波段所对应的各像元点的地面反射率的比值， $\alpha$ 、 $\beta$  是参数，分别取  $\alpha = 0.02$ ， $\beta = 0.651$ ；

[0104] 3) 作物供水指数的计算：

$$[0105] \quad VSWI = \frac{EVI}{T_s}$$

[0106] 式中  $VSWI$  为被监测农田地块所对应的各像元点的作物供水指数； $EVI$  为被监测农田地块所对应的 MODIS 影像各像元点的增强植被指数； $T_s$  为被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的地表温度；

[0107] 4) 对作物供水指数进行标准化：

$$[0108] \quad SDI = (VSWI - VSWI_d) / (VSWI_w - VSWI_d) \times 100\%$$

[0109] 式中  $SDI$  是标准化后被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点作物的供水指数，取  $0 \sim 100\%$ ，其中  $SDI = 0$  表示严重干旱， $SDI = 100\%$  表示非常湿润； $VSWI_d$  和  $VSWI_w$  分别为最早时和最湿润时的作物供水指数； $EVI$  的分级步长可设为  $d$ ，当  $d = 0.05$  时，适宜作物生长的温度空间为  $20^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$  时， $VSWI_d = (n \times d) / 45$ ， $VSWI_w = (n \times d) / 20$ ， $n$  为增强植被指数步长的个数， $n \geq 1$  的正整数（此实例中  $n$  的确定是按所监测农田地块面积每平方公里为 1 个像元计， $n$  为像元数）。对于农田生态系统， $VAWI_d$  和  $VSWI_w$  在适宜生长的温度下的值分别为：

	$EVI$	$VSWI_d$	$VSWI_w$	$EVI$	$VSWI_d$	$VSWI_w$
	<0.05	0.11	0.25	0.35-0.4	0.89	2.0
	0.05-0.1	0.22	0.5	0.4-0.45	1.0	2.25
	0.1-0.15	0.33	0.75	0.45-0.5	1.11	2.5
[0110]	0.15-0.2	0.44	1.0	0.5-0.55	1.22	2.75
	0.2-0.25	0.56	1.25	0.55-0.6	1.33	3.0
	0.25-0.3	0.67	1.5	0.6-0.65	1.44	3.25
	0.3-0.35	0.78	1.75	0.65-0.7	1.56	3.5

[0111] 5) 降水距平指数的计算

$$[0112] \quad SRI = \frac{R}{2R_w} \times 100\%$$

[0113] 式中  $SRI$  为被监测农田地块各像元点的降水距平指数， $SRI$  越大越湿润； $R$  为当旬降雨量； $R_w$  为多年当旬降雨量平均值，在本方法中取最近 10 年的当旬降雨量平均值。当  $R > 2R_w$  时为极端湿润，取  $SRI = 100\%$ ， $R > R_w$  时为正常，取  $SRI = 50\%$ ， $R$  小于多年平均的一半时，为极度干旱，此时  $SRI$  取值为  $0 \sim 25\%$ 。

[0114] 干旱是较长时间缺雨的气象现象，一句以内的缺雨并不一定出现干旱，一句以上

时间的缺雨才会产生干旱问题,因此需要同时考虑前期的降雨量。本方法考虑了最近 8 旬的降雨影响,从而计算出综合降水距平指数,其公式为:

$$[0115] \quad SMRI = A_0 \times SRI_0 + A_1 \times SRI_1 + A_2 \times SRI_2 + A_3 \times SRI_3 + \dots + A_8 \times SRI_8$$

[0116] 6) 确定农业旱情指数

$$[0117] \quad DI = B_1 \times SDI + B_2 \times SMRI$$

[0118] 式中 DI 为被监测农田地块所对应的遥感影像各像元点的农业旱情指数,它是作物供水指数和降雨距平指数的偶合,取 0 ~ 100%, DI = 0 表示非常干旱, DI = 100% 表示非常湿润; SDI 是标准化供水指数, B<sub>1</sub> 是其权重,取 0.6; SMRI 是考虑多旬降雨因素的干旱指数, B<sub>2</sub> 是其权重,取 0.4; B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> 的权重取值是根据 SDI 的取值与实际情况最为相符。然后根据级别划分标准,判断干旱的程度;

[0119] 在此处, 1% ≤ DI ≤ 15% 为重旱, 15% < DI ≤ 30% 为中旱, 30% < DI ≤ 50% 为轻旱, 50% < DI ≤ 70% 为正常, 70% < DI ≤ 100% 为湿润。

[0120] 在实际应用中,为了更直观地向有关部门提供旱情结果,需要对旱情结果进行统计,通过计算各省、区不同旱情等级的受旱面积及受旱比例来评价受旱程度(表 1)。

[0121] 表 1: 华北地区 4 月份各省农业旱情监测结果

[0122]

时间	省份	重旱	干旱	正常	湿润
4 月上旬	河北	2.59	14.83	72.63	9.95
	北京	1.62	16.29	76.23	4.62
	天津	4.31	17.82	58.76	15.18
	山东	0.25	4.50	76.16	18.90
	河南	0.79	8.92	63.67	26.78
	江苏	0.31	2.79	88.26	8.50
	安徽	0.18	6.17	88.37	5.38
4 月中旬	河北	1.97	10.22	74.85	12.97
	北京	0.35	11.33	86.03	2.29
	天津	1.75	16.11	75.67	6.47
	山东	0.67	6.31	76.62	16.40
	河南	0.44	4.67	61.47	33.42
	江苏	0.28	1.95	88.84	8.93
	安徽	0.11	1.87	91.73	6.29
4 月下旬	河北	7.18	13.80	77.09	2.09
	北京	4.61	14.96	79.12	1.31
	天津	13.54	19.38	62.54	4.54
	山东	3.01	7.91	86.26	2.82
	河南	0.60	2.86	71.47	25.07
	江苏	0.16	0.68	73.49	25.67
	安徽	0.12	1.03	88.76	10.09

[0123]

[0124] 从本月降水情况看,本月河北西部和河南大部降水较常年偏少,由于冷暖空气都很活跃,所以强对流天气非常多,中下旬,江苏、安徽的一些地方出现了连续的雷雨天气。但由站点观测数据大致看出,大部分地区降水量一般不足 20mm,加上前期降水偏少,大风天气多,气温大幅回升,造成土壤失墒较快,持续的高温少雨使这些地方的干旱持续发展,至月底旱区有所扩大。从降雨数据看,本监测方法能够很好的反映出农业旱情的基本趋势。