

孙小龙,宋海清,李平,等. 2015. 基于 CLDAS 资料的内蒙古干旱监测分析. 气象, 41(10):1245-1252.

基于 CLDAS 资料的内蒙古干旱监测分析^{* 1}

孙小龙¹ 宋海清¹ 李 平² 李云鹏¹ 武荣盛¹

1 内蒙古生态与农业气象中心,呼和浩特 010051
2 中国农业科学院草原研究所,呼和浩特 010010

提 要：以内蒙古地区为研究区域,对中国气象局陆面数据同化系统(CMA Land Data Assimilation System,CLDAS)的土壤湿度和降水数据进行了评估,使用土壤相对湿度法和连续无降水日数法监测 2014 年夏季干旱,并选择干旱年(2014 年)和湿润年(2013 年)与标准化降水指数和降水百分位指数法进行验证分析。结果表明:CLDAS 资料能够很好地再现日土壤相对湿度动态变化情况和降水落区与量级,能够满足干旱监测的需求;基于 CLDAS 数据的土壤相对湿度法可以方便、快捷地监测干旱日变化和区域性变化,连续无有效降水日数法对评估长时间、持续性干旱较为有效;CLDAS 同化数据在时效性、分辨率、代表性上能够满足气象服务的需求,可作为观测资料的重要补充广泛应用于业务和科研,特别是对于地广人稀且气象站点相对较少的内蒙古地区气象服务潜力巨大。

关键词：CLDAS, 数据同化, 干旱监测, 内蒙古地区
中图分类号：P468 **文献标志码：**A **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.10.007

Analysis of Drought Monitoring in Inner Mongolia Based on CLDAS Data

SUN Xiaolong¹ SONG Haiqing¹ LI Ping² LI Yunpeng¹ WU Rongsheng¹

1 Inner Mongolia Ecology and Agro-Meteorology Center, Hohhot 010051
2 Grassland Research Institute of CAAS, Hohhot 010010

Abstract: The soil moisture and precipitation data of Inner Mongolia of CMA Land Data Assimilation System (CLDAS) were evaluated. The drought that happened in Inner Mongolia in the summer of 2014 was analyzed using CLDAS with RSM and DNP, and the results of dry year (2014) and wet year (2013) were compared with SPI and PDECI. The analysis results revealed that the dynamic variation of daily soil relative moisture and the precipitation area and grade can be reconstructed by CLDAS, which can meet the requirements of drought monitoring. The soil relative moisture index based on CLDAS can monitor the daily and regional changes of drought of quickly and conveniently. The continuous absence of effective precipitation day is relatively valid for estimating long-period and continuous drought. In brief, CLDAS is able to fulfill the timeliness, resolution and representativeness requirements of meteorological service, and can serve research and operation widely as important supplementary for monitoring data. It is valuable for areas like Inner Mongolia where weather station is relatively scarce in a widespread area.

Key words: CMA Land Data Assimilation System (CLDAS), data assimilation, drought monitor, Inner Mongolia

^{*} 国家自然科学基金项目(71403272)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206021)、内蒙古自治区自然科学基金项目(2014BS0709)和内蒙古自治区气象局科技创新项目(nmqxkjcx201406)共同资助
2015 年 1 月 16 日收稿; 2015 年 6 月 10 日收修定稿
第一作者:孙小龙,主要从事农业气象和遥感应用研究.Email:sxldreamcast@163.com
通信作者:李平,草原资源管理.Email:lipingcau@126.com

引 言

干旱是对农业影响最严重的气象灾害,在所有自然灾害造成的经济损失中位居第一(Han et al, 2010)。内蒙古是农业大省,是我国排名前五的粮食输出省(区、市)之一,2014 年内蒙粮食生产实现十一连丰,总产超 550 亿斤(1 斤=0.5 kg)。干旱是内蒙古地区最主要的自然灾害,是该地区发生次数最多、分布范围最广、影响最大的气象灾害(沈建国, 2008)。受全球气候变化影响,内蒙古中部地区是我国显著变干的区域之一(刘珂等, 2015)。同时,内蒙古也是我国生态环境的敏感区和脆弱区,经济发展相对落后抗灾能力薄弱,极易出现重大自然灾害和造成巨大经济损失。据统计,1990—2009 年旱灾造成的内蒙古地区农业直接经济损失约 579.50 亿元(李晶等, 2010)。

对于干旱监测诊断、干旱气候特征和预警技术的研究一直是个热点,国内外专家和学者做了大量研究。McKee 等(1995)提出了基于标准化降水指数,通过降水量的统计分布规律反映干旱;谢五三等(2011; 2013)利用基于标准化降水指数和相对湿度指数的 CI 指数研究了淮河流域干旱时空特征,并比较了 5 种干旱指标在安徽省的适用性;邵小路等(2013)利用卫星遥感资料和常规气象资料驱动基于地表净辐射、植被指数、平均气温和日温差的蒸散模型,通过蒸散干旱指数分析了华北地区的干旱分布特点;刘慧敏等(2010)利用 MODIS 资料研究了安徽省晴空状况下的干旱;李韵婕等(2014)利用区域性极端事件客观识别法和综合气象干旱指数对我国西南地区区域性气象干旱事件进行了识别研究;周扬等(2013)利用地面观测数据采用变点分析探测了 30 年内蒙古地区气候因子与历史灾情的变化趋势,并采用多元回归模型分析了旱灾的主要致灾因子和格兰杰因果关系。

已有研究多利用常规气象观测数据和遥感数据监测干旱,但内蒙古幅员辽阔气象站点相对较少,“东密西疏”现象严重;土壤相对湿度这一干旱监测重要指标仅有 119 个人工观测站每旬逢 8 进行观测,目前的自动观测站数量较少(68 站)且多分布于农区,常规气象观测资料在站点密度、观测频次上均不能满足干旱监测的需要;同时由于地域面积大遥感数据很难获取单日整个内蒙古区域的晴空资料,

而不受云影响的微波遥感数据目前在空间分辨率上较差。单纯使用常规气象资料或遥感资料对内蒙古区域进行干旱监测局限性较大。

近年来,陆面数据同化技术为有效利用站点观测数据与遥感信息提供了途径,陆面数据同化系统的发展有利于打破陆面过程模拟和观测之间的隔阂,在同一框架中将其集成(李新等, 2007)。中国气象局陆面数据同化系统(CMA Land Data Assimilation System, CLDAS),利用数据融合与同化技术,对地面观测数据、卫星遥感资料和数值模式产品等多源数据进行融合同化,可以提供逐小时、空间分辨率为 $0.0625^{\circ} \times 0.0625^{\circ}$ 的降水、土壤湿度等数据。降水与土壤相对湿度是干旱监测最为重要的两个指标,格点化、逐小时的数据序列为干旱监测提供了便利。本文以内蒙古地区为研究区域,对 CLDAS 的土壤相对湿度和降水数据进行了评估,使用土壤相对湿度法和连续无降水日数法监测 2014 年夏季内蒙古干旱情况,并选择干旱年(2014 年)和湿润年(2013 年)与标准化降水指数和降水百分位指数法进行比较分析,探讨同化数据在内蒙古干旱气象服务中的应用。

1 资料和方法

1.1 CLDAS 简介

CLDAS 是利用数据融合与同化技术,对地面观测数据、卫星遥感资料和数值模式产品等多源数据进行融合同化,获取格点化的温度、气压、湿度、风速、降水和辐射等气象要素,并驱动公用陆面模式(Community Land Model 3.5),从而获得土壤温度和湿度等陆面数据。CLDAS 数据集包括逐小时、空间分辨率为 $0.0625^{\circ} \times 0.0625^{\circ}$ 的东亚区域 2 m 比湿、地表气压、地面短波辐射、降水、2 m 气温、10 m 风速及土壤相对湿度等气象要素。

其中,气温、气压、比湿和风速使用多重网格三维变分(The Space and Time Mesoscale Analysis System, STMAS)的同化方法(张涛, 2013),利用了包括中国基本气象站、中国基准气象站、一般气象站在内的 2421 个国家级自动站以及业务考核的 29452 个区域自动站的逐小时观测数据,综合考虑台站信息(经纬度、海拔高度等),在 NCEP/GFS 背景场基础上制作而成的。研究表明,融合自动站观

测数据后的同化数据更接近实测(龚伟伟,2014);地面入射太阳总辐射是利用 FY-2D/E 静止卫星一级数据,采用离散纵标法(DISSORT 大气辐射传输模型)反演逐小时太阳入射辐射,Jia 等(2013)对比分析了 FY-2C、ERA-Interim、NCEP-DOE 和 FLASHFlux 的辐射产品,结果表明 FY-2C 卫星地面入射太阳辐射反演产品在精度上与国外同类产品相当;降水采用 CMORPH(CPC MORPHing technique)卫星融合降水产品为背景场,与地面自动站降水数据融合制作。潘旻等(2012)对降水融合产品进行了评估,结果表明:融合产品与 CMORPH 卫星反演降水相比,平均偏差更接近于 0,相对误差、均方根误差均大幅减小,相关系数提高了一倍;与 FY-2C 同类型产品相比,融合产品的精度也更高。

1.2 CLDAS 数据处理

使用 2014 年 6 月 5 日至 8 月 25 日的 CLDAS 逐小时近实时资料中的土壤湿度和降水融合同化数据。CLDAS 土壤湿度数据包括:0~5、0~10、10~20、10~40、40~80 和 80~200 cm 共 6 层不同深度的土壤体积含水量数据,本研究中选用了 0~10 和 10~40 cm 数据,计算得到 0~40 cm 土壤体积含水量数据。

使用《基于世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集 V1.1(China Soil Map Based Harmonized World Soil Database V1.1)》中相应深度的土壤容重和田间持水量将 0~40 cm 土壤体积含水量换算为土壤相对湿度。将每日逐小时降水数据累加,得到每日降水数据;将每日逐小时的土壤相对湿度数据进行均值计算,得到每日土壤相对湿度数据。

1.3 干旱监测方法

1.3.1 土壤相对湿度法

土壤相对湿度干旱指数(Relative soil moisture index)是表征土壤干旱的指标之一,能直接反映作物可利用水分的减少状况。考虑干旱发生的时间以及作物根系发育情况,本研究中选择使用 0~40 cm 土壤相对湿度数据。

采用 HWSD 数据集中美国农业部(USDA)的土壤质地分类标准。按照土壤颗粒直径将土壤质地分为壤土、砂土和黏土。根据土壤质地的不同,将土壤相对湿度法农业干旱等级划分为无旱、轻旱、中旱、重旱和特旱 5 个等级。干旱等级划分参照《农业

干旱等级》(吕厚荃等,2008)。

1.3.2 连续无有效降水日数法

连续无有效降水日数(Continuous days without available precipitation, DNP)是表征农田和北方牧区草原水分补给状况的重要指标之一。本研究监测干旱的时段集中在夏季,是作物生长发育的关键时期,同时也是作物需水、耗水最多的时期,故将 5mm 定义为有效降水。连续无有效降水日数干旱等级划分标准参照《农业干旱等级》(吕厚荃等,2008)。

2 结果与分析

2.1 CLDAS 资料评估

使用内蒙古地区 119 个气象站点的人工观测土壤相对湿度数据和日降水数据,与 CLDAS 资料进行对比验证。表 1 按照不同月份分别给出了 2013 和 2014 年观测数据与 CLDAS 资料的相关系数和平均偏差。图 1 为站点降水数据与 CLDAS 数据的空间对比。

统计结果表明,在内蒙古区域,CLDAS 与站点观测土壤湿度数据均显著相关,相关系数均超过了 0.65,平均偏差在 0.10~0.14。韩帅等(2014 年)利用土壤湿度自动站(566 站)观测结果对 CLDAS 资料进行了评估,结果表明 CLDAS 的相关系数指标,在绝大多数省、市、自治区均超过了 0.6,其中北京、辽宁、云南等省市更是接近 0.9;朱智等(2014 年)比较和评估了 CLDAS 和全球陆面同化系统(GLDAS)四个陆面模式输出的土壤湿度产品,从模拟值和观测值的偏差和相关系数来看,CLDAS 的土壤湿度产品优于 GLDAS;这些评估结果均表明 CLDAS 土壤湿度数据有较为稳定的模拟效果,且变化趋势与实测数据较为一致。CLDAS 与站点观测降水数据均显著相关,相关系数最高达到了 0.876(2013 年 7 月),在空间对比(图 1)中可以看出,CLDAS 降水资料可以很好地反映出内蒙古地区降水由东北向西南逐渐减少的空间变异性,在降水量级上也有较高的准确性,其中在呼伦贝尔市西部的呼伦湖和贝尔湖区域 CLDAS 表现出了较强的局地特征,而在湖体周围无气象观测站点分布。CLDAS 土壤湿度和降水资料的评估结果表明:在内蒙古区域,CLDAS 资料能够很好地再现土壤相对湿度动态

表 1 内蒙古地区 CLDAS 土壤湿度、降水和台站观测值的相关系数和平均偏差
Table 1 The correlation coefficients and mean bias for relative soil moisture and precipitation from CLDAS compared to station observations in Inner Mongolia

		6 月		7 月		8 月		夏季	
		相关系数	平均偏差	相关系数	平均偏差	相关系数	平均偏差	相关系数	平均偏差
0~40 cm 土壤 相对湿度/%	2013	0.691 **	0.135	0.665 **	0.138	0.654 **	0.123	0.686 **	0.129
	2014	0.760 **	0.108	0.753 **	0.111	0.664 **	0.154	0.725 **	0.116
降水/mm	2013	0.758 **	1.657	0.876 **	1.869	0.866 **	1.156	0.850 **	1.560
	2014	0.835 **	1.034	0.679 **	1.822	0.815 **	0.934	0.728 **	1.402

注: ** 表示通过了 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验。
Note: ** indicates the value has passed the significance level $\alpha=0.01$ by the 99.9% confidence level test.

变化情况和降水的落区与量级,能够满足干旱监测的需求。

2.2 土壤相对湿度法

利用 CLDAS 土壤湿度格点数据分别计算砂土、壤土和黏土区域 RSM 并按照干旱标准划分干旱等级,在 Arcgis 9.3 中将 3 种土壤质地干旱监测结果合并,得到内蒙古区域 2014 年 6 月 5 日至 8 月 25 日逐日土壤相对湿度干旱监测结果。图 2 中给出了这一时期具有代表性的 6 日次的干旱监测结果。

RSM 干旱监测结果显示(图 2):2014 年内蒙夏季旱情发生于 6 月下旬,并逐步发展,7 月底至 8 月初为旱情最为严重的时期,主要影响区域为锡林郭勒盟、赤峰市、通辽市、乌兰察布市、巴彦淖尔市及阿拉善盟等内蒙古中西部盟市,8 月中旬旱情得到缓解,8 月下旬旱情基本解除。在图 2 中还可以看出,在整个监测期间阿拉善盟一直处于较为干旱的状态,这是由于阿拉善盟常年少雨,气候干旱,RSM 法在阿拉善盟等极端干旱地区适用性较差。查阅国家气候中心发布的《中国旱涝气候公报》(中国气象局国家气候中心)可知这与该年内蒙干旱实际情况较为吻合。

2.3 连续无有效降水日数法

利用 CLDAS 降水格点数据计算了内蒙古区域 2014 年 6 月 5 日至 8 月 25 日每日的有效降水区域,使用连续无有效降水日数(DNP)法监测旱情(图 3)。

从图 3 中可以看出:在整个夏季,除呼伦贝尔市、兴安盟、呼和浩特市和鄂尔多斯市东部局部地区外,整个内蒙古都有不同程度的干旱发生,中等以上干旱主要发生在通辽市、赤峰市的中部,锡林郭勒盟

西北部,乌兰察布市北部,巴彦淖尔市北部和阿拉善盟。与 RSM 监测日动态干旱不同,DNP 关注的是整个时段的干旱累计情况;从两种方法的监测结果来看,其发生中等以上干旱的区域基本吻合。

2.4 CLDAS 资料干旱监测的验证分析

使用内蒙古地区 119 个气象站点,64 余年(1951—2014 年)夏季(6—8 月)的月降水数据,使用标准化降水指数(standardized precipitation index, SPI)和降水百分位指数(precipitation percentile index, PDECI)方法按照月、季度的尺度计算了内蒙古区域 2013 年(湿润年)和 2014 年(干旱年)6—8 月和夏季的 SPI 和 PDECI 指数。在月尺度上与 RSM 法进行比较,在季度尺度上与 DNP 法进行比较。

2.4.1 干旱年(2014 年)的验证分析

图 4 给出了内蒙地区 2014 年 6—8 月的 RSM 指数、DNP 指数、SPI 指数、PDECI 指数的空间分布。由 RSM 指数各月的空间分布来看,6 月(图 4a₁、b₁ 和 4c₁)RSM 指数显示内蒙古阿拉善盟东南部和除呼伦贝尔市东部外的整个东部地区都较湿润,这与 SPI 指数、PDECI 指数显示的空间分布基本一致,不同的是巴彦淖尔市和阿拉善盟北部, RSM 指数反映出的干旱程度明显强于 SPI 和 PDECI 指数。7 月(图 4a₂、4b₂ 和 4c₂)RSM 指数显示在锡林郭勒盟东部和通辽市西辽河流域较湿润,这与 SPI、PDECI 指数反映情况相反,PDECI 指数在锡林郭勒盟、通辽市指示的干旱程度较为严重, SPI 指数次之,这是因为 PDECI 和 SPI 指数只受降水量一个因素影响,对降水更为敏感,该区域在 7 月降水较少;而 RSM 指数所依赖的土壤相对湿度数据则通过温度、气压、湿度、风速、降水和辐射等气象要素驱动公共陆面模式(CLM3.5)得到,综合了多种要素。8 月(图 4a₃、4b₃ 和 4c₃),RSM 指数显示

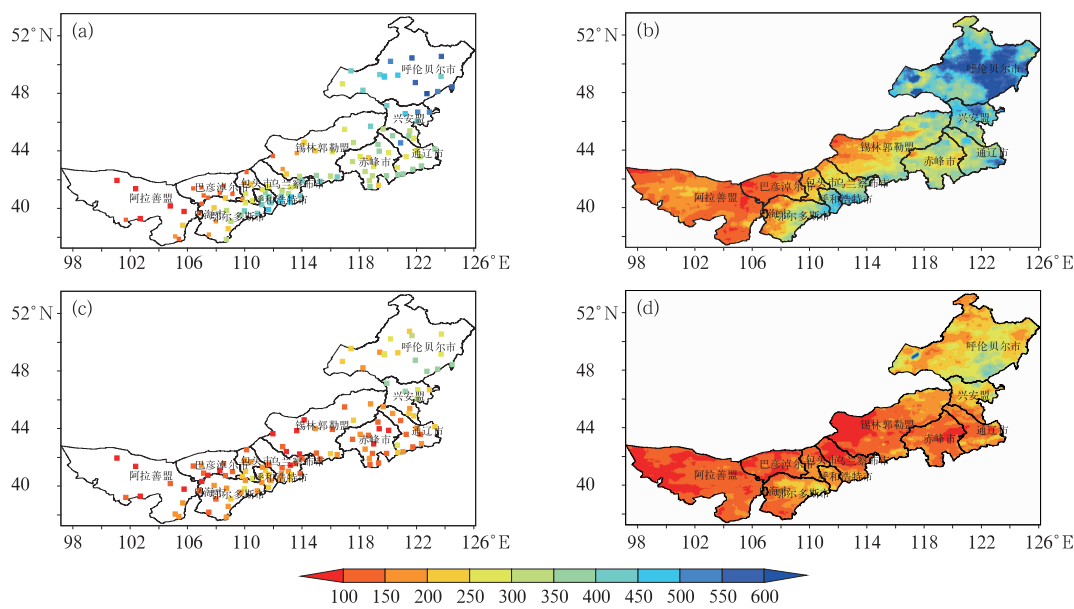


图 1 2013 和 2014 年夏季内蒙古地区站点观测降水(a, c)与 CLDAS 资料降水(b, d)空间分布(单位: mm)

Fig. 1 Spatial distributions (unit: mm) of precipitation from observation (a, c) and CLDAS (b, d) in summer Inner Mongolia in 2013 and 2014

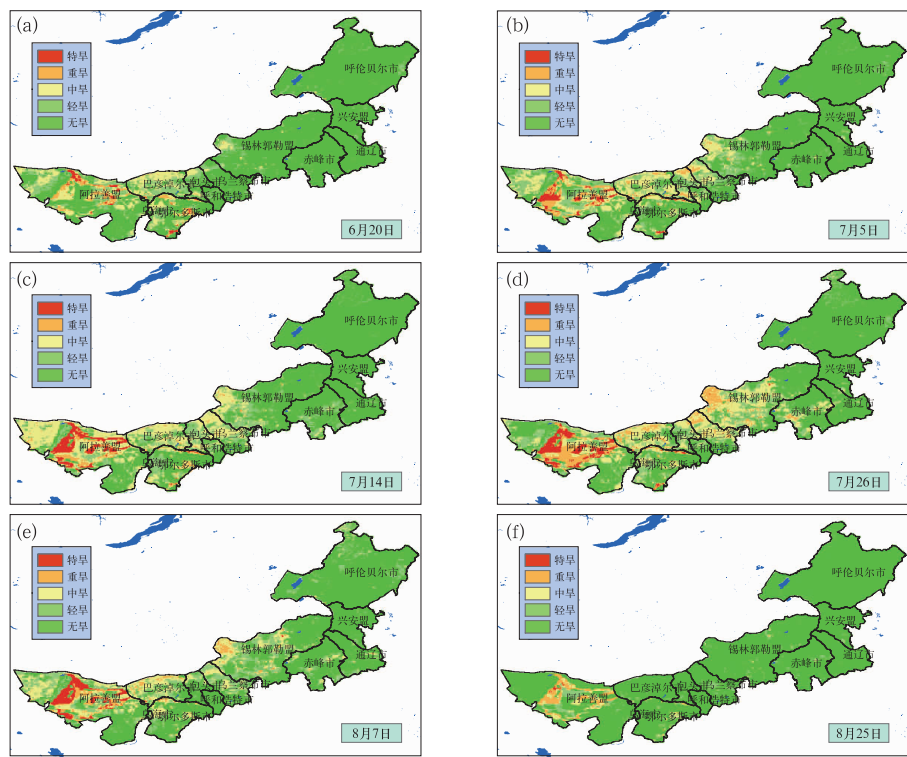


图 2 2014 年夏季内蒙古地区 RSM 法干旱监测结果

(a)6 月 20 日, (b)7 月 5 日, (c)7 月 14 日, (d)7 月 26 日, (e)8 月 7 日, (f)8 月 25 日
Fig. 2 Drought monitoring result by RSM method index in Inner Mongolia in summer 2014
(a) 20 June, (b) 5 July, (c) 14 July, (d) 26 July, (e) 7 August, (f) 25 August

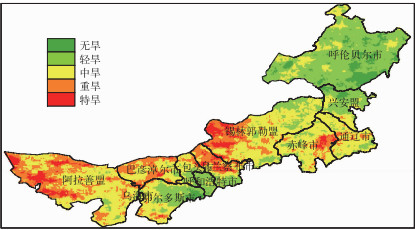


图 3 2014 年夏季内蒙古地区 DNP 法干旱监测结果

Fig. 3 Drought monitoring result by DNP method in Inner Mongolia during the summer of 2014

内蒙区域旱情程度有所缓解,锡林郭勒盟西部、呼和浩特、包头处于轻旱,这与 SPI 、 $PDECI$ 指数反映情况基本一致,但 $PDECI$ 指数在通辽市、赤峰市区域反映干旱程度明显偏重;RSM 指数法反映出的干旱更接近于实际情况,2014 年夏季内蒙区域长达近 3 个月的持续性干旱在 8 月得到缓解。整个夏季(图 4a₄、4b₄ 和 4c₄), DNP 指数反映出的干旱较严重区域主要分布在赤峰市东部、锡林郭勒盟西部、乌兰察布市北部,这与 SPI 、 $PDECI$ 指数反映情况较为接近,其中与 $PDECI$ 指数更为吻合;在阿拉善

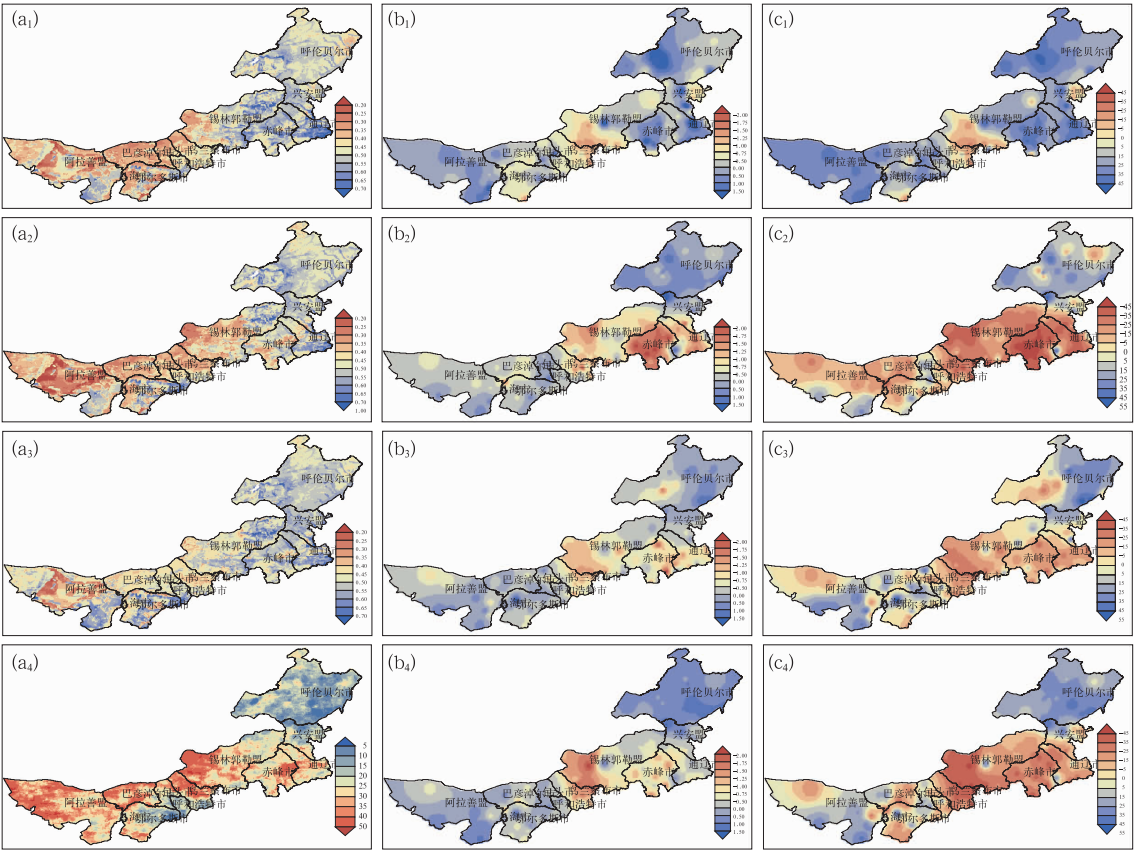


图 4 2014 年内蒙古地区 RSM、DNP、 SPI 和 $PDECI$ 干旱指数分布

(a₁, a₂, a₃)6、7、8 月 RSM 指数,(b₁, b₂, b₃)6、7、8 月 SPI 指数,(c₁, c₂, c₃)6、7、8 月 $PDECI$ 指数, (a₄)夏季 DNP 指数,(b₄)夏季 SPI 指数,(c₄)夏季 $PDECI$ 指数

Fig. 4 Spatial distributions of RSM, DNP, SPI and $PDECI$ drought index in Inner Mongolia in summer 2014

(a₁, a₂, a₃) RSM index in June, July and August; (b₁, b₂, b₃) SPI index in June, July and August; (c₁, c₂, c₃) $PDECI$ index in June, July and August; (a₄) DNP index in summer; (b₄) SPI index in summer; (c₄) $PDECI$ index in summer

盟、巴彦淖尔市、鄂尔多斯市南部差异较大; DNP 指数是基于 CLDAS 的近实时格点化降水资料,CLDAS 降水资料是利用 CMORPH 产品为背景场融合降水自动站观测数据制作的中国区域小时降水量

融合数据,而内蒙古西部干旱地区年降水量很小,如额济纳旗年降水为 34.5 mm,其中夏季降水仅为 21.9 mm,一次降水很难形成有效降水,而有效降水是 DNP 指数考虑的唯一指标,同时由于 DNP 方法

使用单时段降水量,其自身存在区域性和季节性的差异,不同气候区域间很难使用统一的标准来比较干旱程度(赵一雷等,2013),故 DNP 指数在内蒙古西部监测干旱与 *SPI*、*PDECI* 指数差异较大。

2.4.2 湿润年(2013 年)的验证分析

图 5 给出了内蒙古地区 2013 年 6—8 月的 *RSM* 指数、*DNP* 指数、*SPI* 指数、*PDECI* 指数的空间分布。6 月(图 5a₁、5b₁ 和 5c₁),*RSM*、*SPI* 和 *PDECI* 三种指数的差异出现在通辽市南部,这是由于该地区与历年同期相比降水偏少,但通辽市南部属西辽河流域,其前期土壤水分状况较好导致在

RSM 指数上并未反应出类似结果,张强等(2014)指出,一般农业干旱爆发晚于气象干旱,它取决于前期地表土壤水分状况;7 月(图 5a₂、5b₂ 和 5c₂)和 8 月(图 5a₃、5b₃ 和 5c₃)3 种方法反映出的干旱监测情况大致相同;整个夏季(图 5a₄、5b₄ 和 5c₄),内蒙古区域 *SPI* 指数均大于 0,这表明 2013 年内蒙地区降水较为充沛,土壤墒情较好,*DNP* 指数(图 5a₄)在除阿拉善盟外的其他区域给出了类似的监测结果,差异主要是由于 *DNP* 法在极端干旱地区的适用局限性造成的。

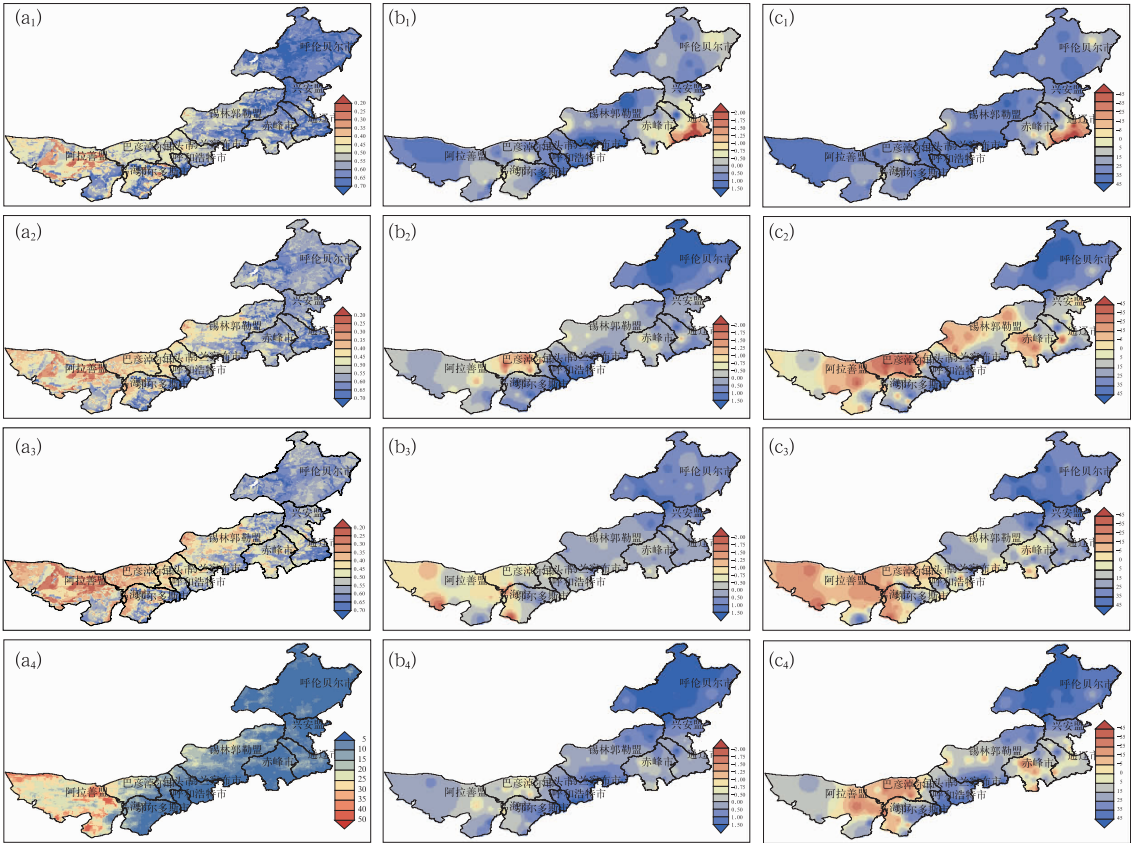


图 5 2013 年内蒙古地区 *RSM*、*DNP*、*SPI*、*PDECI* 干旱指数分布
(说明同图 4)

Fig. 5 Spatial distributions of *RSM*, *DNP*, *SPI* and *PDECI* drought index in Inner Mongolia in summer 2013
(Illustration is same as the Fig. 4)

3 结论与讨论

(1) 在内蒙古区域,CLDAS 资料能够很好地再现土壤湿度动态变化情况和降水的落区与量级,能

够满足干旱监测的需求。CLDAS 对多源数据使用融合与同化技术,可以快捷地获取高质量、格点化的温度、气压、湿度、风速、降水和辐射等气象要素,在观测频次、分辨率、代表性等方面具备很大优势,可作为观测资料的重要补充,广泛应用于业务和科研,

对于地广人稀、气象站点相对较少的内蒙古地区气象服务潜力巨大。

(2) 2014 年夏季内蒙旱情发生于 6 月下旬,并逐步发展,7 月底至 8 月初为旱情最为严重的时期,主要影响的区域为锡林郭勒盟、赤峰市、通辽市、乌兰察布市、巴彦淖尔市及阿拉善盟等内蒙古中西部盟市,8 月中旬旱情得到缓解,8 月下旬旱情基本解除。2013 年(湿润年)夏季内蒙墒情较好,未发生干旱。通过干旱年和湿润年的干旱监测验证分析可知,基于 CLDAS 资料的干旱监测结果在内蒙古区域上是可用的。

(3) 基于 CLDAS 数据的土壤相对湿度法可以方便、快捷地监测干旱日变化和区域性变化,连续无有效降水日数法对评估长时间、持续性干旱较为有效。

(4) 土壤相对湿度法和连续无有效降水日数法在内蒙古西部极端干旱地区适用性较差,这是由该地区的气候特点决定的,在极端干旱地区使用单时段气象数据进行干旱监测往往不具代表性(李峰等,2014)。目前,CLDAS 数据时间序列较短(2009 年开始)无法开展与历年对比分析等工作。CLDAS 数据的再分析、时间序列的补充等还有待于进一步的研究。

(5) 一个理想的干旱指数应该同时满足普适性、理论性、实用性、可比性、易理解性、时效性和无量纲性等多方面的特征(张强等,2011)。本文利用 CLDAS 数据,采用土壤相对湿度法和连续无有效降水日数法对于干旱进行监测还存在诸多不足,如有效降水因土壤质地和下垫面类型造成的差异,河套灌区等特殊地区土壤相对湿度的变化,对内蒙古不同区域干旱指标的研究等问题还需做进一步的工作。

致谢:《基于世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集 V1.1(China Soil Map Based Harmonized World Soil Database V1.1)》数据来源于“黑河计划数据管理中心”。

参考文献

- 龚伟伟. 2014. CMA 陆面数据同化系统(CLDAS)产品评估. 南京信息工程大学, 37.
- 韩帅, 师春香, 吕厚荃. 2014. CMA 陆面数据同化系统业务产品应用——2012 年中国区域干旱监测//第六届海峡论坛 2014 年两岸民生气象论坛文集. 厦门.
- 李峰, 赵玉金, 赵红, 等. 2014. FY-3A/MERSI 数据在山东省农田干

- 旱监测中的应用. 干旱气象, 32(1):14-22.
- 李晶, 王耀强, 屈忠义, 等. 2010. 内蒙古自治区干旱灾害时空分布特征及区划. 干旱地区农业研究, 28(5):266-272.
- 刘惠敏, 马小群, 孙秀帮. 2010. 安徽省 MODIS 干旱监测技术研究. 气象, 36(4):111-115.
- 李新, 黄春林, 车涛, 等. 2007. 中国陆面数据同化系统研究的进展与前瞻. 自然科学进展, 17(2):163-173.
- 李韵婕, 任福民, 李忆平, 等. 2014. 1960—2010 年中国西南地区区域性气象干旱事件的特征分析. 气象学报, 72(2):266-276.
- 刘珂, 姜大膀. 2015. 基于两种潜在蒸散发算法的 SPEI 对中国干湿变化的分析. 大气科学, 39(1):23-36.
- 吕厚荃, 张玉书, 王健林, 等. 2008. 农业干旱等级(征求意见稿). 国家质量监督检验检疫总局, 4-7.
- 潘滔, 沈艳, 宇婧婧, 等. 2012. 基于最优插值方法分析的中国区域地面观测与卫星反演逐时降水融合试验. 气象学报, 70(6):1381-1389.
- 邵小路, 姚红梅, 张佳华, 等. 2013. 基于蒸散干旱指数的华北地区干旱研究. 气象, 39(9):1154-1162.
- 沈建国. 2008. 中国气象灾害大典:内蒙古卷. 北京:气象出版社, 1-89.
- 谢五三, 田红. 2011. 五种干旱指标在安徽省应用研究. 气象, 37(4):503-507.
- 谢五三, 田红, 王胜, 等. 2013. 基于 CI 指数的淮河流域干旱时空特征研究. 气象, 39(9):1171-1175.
- 张强, 韩兰英, 张立阳, 等. 2014. 气候变暖背景干旱和干旱灾害风险特征及管理策略. 地球科学进展, 29(1):80-91.
- 张强, 张良, 崔显成等. 2011. 干旱监测与评价技术的发展及其科学挑战. 地球科学进展, 26(7):763-778.
- 车涛. 2013. LAPS/STMAS 的多源资料融合及应用研究. 南京信息工程大学, 20.
- 赵一雷, 任福民, 李栋梁, 等. 2013. 基于有效降水干旱指数的改进研究. 气象, 39(5):600-607.
- 中国气象局国家气候中心. 2014. 中国旱涝气候公报. http://cmdp.ncc-cma.net/extreme/dust.php?product=dust_moni. 2014. 06.05-08.25.
- 周扬, 李宁, 吴吉东. 2013. 内蒙古地区近 30 年干旱特征及其成灾原因. 灾害学, 28(4):67-73.
- 朱智, 师春香. 2014. CLDAS 和 GLDAS 对中国区域土壤湿度的模拟与评估. 科学技术与工程, 14(32):138-144.
- Jia Binghao, Xie Zhenghui, Dai Aiguo, et al. 2013. Evaluation of satellite and reanalysis products of downward surface solar radiation over East Asia: Spatial and seasonal variations. J Geophys Res: Atmospheres, 118(9):3431-3446.
- Han Ping, Wang Pengxin, Zhang Shuyu, et al. 2010. Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models. Math Comp Model, 51(11):1398-1403.
- McKee T B, Doeskin N J, Kleist J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, Ninth Conf on Applied Climatology. Dallas: Amer Meteor Soc, 233-236.