

土壤水分监测指标修订在内蒙古地区的应用

代海燕¹, 吴建华², 贾成朕¹, 都瓦拉¹, 杨丽萍¹, 陈素华¹

(1.内蒙古生态与农业气象中心, 内蒙古呼和浩特 010051; 2.内蒙古赤峰市气象局, 内蒙古赤峰 024000)

摘要:为了准确评估土壤水分盈亏状况,在墒情评估中引入土壤有效水下限概念,提出单站单标准的墒情评估体系。结果表明:内蒙古自动土壤水分观测站凋萎湿度和田间持水量整体偏高,区域主要集中在东部区、河套地区和阴山山脉,相对偏低区域主要在锡林郭勒盟和西部区,偏低区土地类型以草原和荒漠区为主。整体来看,相对凋萎湿度东部高于中西部,东部偏南最高;相对凋萎湿度(6.57%~55.15%)波动较大,在田间持水量至相对凋萎湿度之间根据等间距划分得到二类、三类墒情上限范围为68.86%~85.05%和37.71%~70.07%,地区间墒情标准等级差异较大,二、三类墒情从地理位置来看,东部区>中部区>西部区>锡林郭勒盟草原区,从土地利用分区来看,农林区域要明显大于草原区,其中内蒙古中西部的乌兰察布—土默川农业区、阴山丘陵农业区、河套灌区要明显高于周边草原区。

关键词:土壤含水量;土壤墒情;单站单标准;相对凋萎湿度;田间持水量;内蒙古

中图分类号:S152.7 **文献标志码:**A

Revision of soil moisture monitoring index and its application in Inner Mongolia

DAI Haiyan¹, WU Jianhua², JIA Chengzhen¹, DU Wala¹, YANG Liping¹, CHEN Suhua²

(1. Inner Mongolia Ecology and Agricultural Meteorology Centre, Hohhot, Inner Mongolia 010051, China;

2. Chifeng Meteorological Bureau, Chifeng, Inner Mongolia 024000, China)

Abstract: The concept of effective soil water limit was introduced into the soil moisture level assessment in this paper, the author put forward a new soil moisture content evaluation standard, each monitoring station had a corresponding standard. The results showed that the area with high wilting humidity and field moisture holding mainly distributed in the eastern region, Hetao region, and Yinshan mountains in automatic soil moisture observation station of Inner Mongolia. The relatively low areas was mainly as grassland and desert areas in Xilin Gol League and the western region of Inner Mongolia. The relative wilting humidity in the eastern region was higher than that in the central and western regions, especially, in the eastern region of Inner Mongolia. Relative wilting humidity with a wide range of fluctuations ranged from 6.57% to 55.15%, according to the classification of equal spacing the upper limit range of the second and third types of moisture content was 68.86%~85.05% and 37.71%~70.07%. There were great differences in moisture content levels among different regions. The second and third types of moisture content ranged based on the geographical location as east area > central area > west area > Xilin Gol League grassland area. From the perspective of land use zoning, agricultural and forest areas were significantly higher than grassland areas. Among them, the Ulan Qab-Tumochuan agricultural area, Yinshan hilly agricultural area, and Hetao irrigation district in central and western Inner Mongolia obviously were higher than the surrounding grassland area.

Keywords: soil water content; soil moisture; single station single standard; relative soil wilting humidity; field capacity; Inner Mongolia

收稿日期:2018-11-30

修回日期:2019-02-27

基金项目:国家自然科学基金项目(41461102);林业公益性行业专项(201304206);内蒙古自治区自然科学基金项目(2016MS0376)

作者简介:代海燕(1978-),男(蒙古族),辽宁阜新人,高级工程师,主要从事林业气象与生态气象方面的研究。E-mail: daihaiyan2003@163.com

通信作者:杨丽萍(1977-),内蒙古赤峰人,高级工程师,博士,主要从事生态气象、林业气象领域的研究。E-mail: 549976901@qq.com

当前土壤墒情的研究主要集中在诊断模型^[1-2]、监测预测系统^[3]和遥感反演^[4-6],关于土壤墒情等级和干旱等级分类都是以标准形式给出的。目前我国多数土壤墒情等级都是将土壤相对湿度划分为一定区间来评定的^[7-11],以土壤相对湿度监测土壤墒情变化和干旱发生预测预报^[12-15]。其技术方面存在的不足主要有:(1)干旱都是以土壤相对湿度高低来评估,以土壤含水量占田间持水量(有效水上限)的百分比表示,而土壤相对湿度距离有效水下限问题比较模糊。(2)相同土壤相对湿度在地区间差异很难体现,土壤水分受土壤特性影响,同样 30% 的土壤相对湿度在不同地区给作物提供有效水能力差异很难体现。现行国家农业干旱评估,气象局的土壤墒情评定标准也同样以田间持水量为土壤有效水上限,然后根据经验值划分一定区间评估土壤墒情,其优点是衡量标准简单、计算方便,却忽略了土壤凋萎湿度不同,使用者如不根据当地土壤性质对等级划分进行适当调整,就很难体现较低土壤含水量在地区间的时空差异^[11-12]。近年来随着国家大量投入土壤自动水分观测站建设,为干旱评估中引入有效水概念(相对凋萎湿度)提供了契机,进而突破人工土壤水分观测瓶颈问题。因此,本文通过分析自动土壤水分观测站点土壤水分常数,计算出站点土壤有效水的下限,然后根据土壤有效水上、下限的临界值构建站点新墒情等级,实现单站单标准的墒情评估。此种土壤水分监测指标的修订对土壤墒情标准的改良意义重大,可为其他部门干旱评估提供借鉴。

1 研究区概况

内蒙古位于 97°12'~126°04'E, 37°24'~53°23' N,东西长 2 400 多 km,南北宽 1 700 km。全区地势较高,平均海拔高度 1 000 m 左右,基本上是一个高原型的地貌区。在山地向高平原、平原的交接地带,分布着黄土丘陵和石质丘陵,其间分布有低山、谷地和盆地,水土流失较严重。地区水资源严重不足,降水季节和区域分布不均,局地性或区域性干旱几乎每年都会出现,已成为困扰社会经济发展的重大问题。总的气候特点是春季气温骤升,多大风天气,夏季短促而炎热,降水集中,年总降水量 50~450 mm,秋季气温剧降,霜冻往往早来,冬季漫长严寒,多寒潮天气。

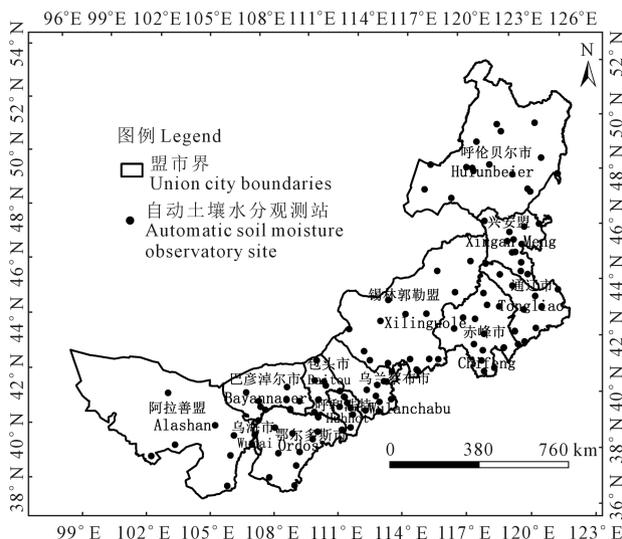


图 1 内蒙古自动土壤水分观测站空间分布

Fig.1 Spatial distribution of automatic soil moisture observatory in Inner Mongolia

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

使用内蒙古地区 137 个自动土壤水分观测站土壤水分常数,主要包括田间持水量和凋萎湿度。因土壤质地是多年缓慢变化的过程,其田间持水量和凋萎湿度可近似作为常数。

2.2 研究方法

2.2.1 土壤水分相关概念 土壤重量含水率:一般用土钻法取土并称鲜重,然后在 105℃ 的烘箱内烘干至恒重并称,计算出土壤水重量。土壤含水率(W,%)是指土壤水重量与干土重量的百分数。

田间持水量(field capacity, FC):是在地下水位较低(毛管水不与地下水相连)情况下,土壤所能保持的毛管悬着水的最大量,田间持水量是衡量土壤保水性的重要指标,也是进行农田灌溉、作物水管理的重要参数,通常被视为作物有效水的上限^[15-16],一般用重量含水率表示(%)。

凋萎湿度(wilting points, WP):是土壤湿度表示方法的一种,指由于土壤水分严重不足,植物吸收不到水分而使细胞失去膨压,呈现萎蔫状态时的土壤湿度,是植物有效水的下限,一般用重量含水率表示(%)。

土壤相对湿度(relative soil moisture, R):土壤相对湿度是指土壤含水量与田间持水量的百分比。

2.2.2 当前土壤水分监测指标评定方法 当前土壤墒情等级和干旱评估方法都是以土壤水分占有有效水上限田间持水量百分比为依据划分的墒情或

者干旱等级(公式(1)),其优点是计量简单,地区间对比强,缺点是只考虑了有效水的上限,而没有考虑有效水的下限,很难体现较低土壤相对湿度在地区间的表现差异,比如同样是 30% 的含水量,在鄂尔多斯荒漠区和通辽市农区的土壤水分实际表现特征很难体现^[8,12,15]。

$$R = \frac{W}{FC} \times 100\% \quad (1)$$

式中, R 为土壤相对湿度(%); W 为土壤重量含水率(%); FC 为田间持水量(%). 根据站点监测土壤相对湿度(R) 在土壤干旱监测指标的落区,得到站点的土壤水分划分等级。

2.2.3 有效水墒情等级的理论基础 根据土壤质地不同土壤凋萎湿度和田间持水量的含水量范围分别为 1.8%~17.4% 和 4.5%~23.8% (表 1), 砂质土壤有效水范围小,中壤土有效水含量范围最大。轻粘土的田间持水量虽略大于壤土,但凋萎系数高,因而有效水范围反而比壤土小^[16] (见图 2)。相对凋萎湿度就很好地解决了土壤有效水下限不明确的问题,这对于土壤墒情等级的确立具有极其重要的意义。

表 1 土壤质地对有效水含量的影响^[16]

Table 1 Effect of soil texture on effective water content

土壤质地 Soil texture	田间持水量/% Field capacity	凋萎系数/% Wilting point	有效水含量/% Effective water content
松砂土 Loose sand	4.5	1.8	2.7
砂壤土 Sandy loam soil	12.0	6.6	5.4
中壤土 Medium loam	20.7	7.8	12.9
轻粘土 Light clay	23.8	17.4	6.4

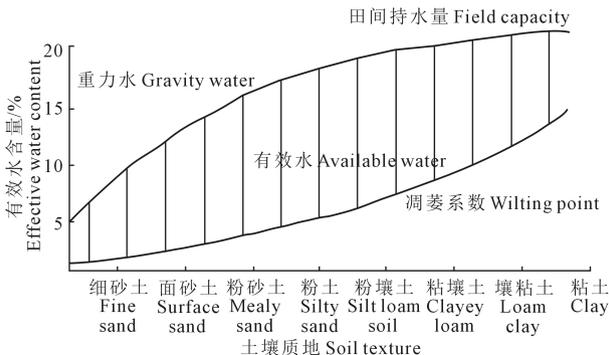


图 2 土壤质地与有效水上下限阈值的关系

Fig.2 Relationship between soil texture type and effective water threshold value

2.2.4 考虑有效水下限后改良的三类墒情标准 随着中国气象局在干旱和墒情评估中不断的资金投入,更多土壤人工观测站被自动土壤水分观测站所代替,随着站点数量的增加,为凋萎湿度引入墒情和干旱评估提供了契机。土壤相对凋萎湿度(公式(2))更好地弥补了以往墒情和干旱标准的缺陷,在充分考虑有效水上、下限的基础上,提出墒情等级改良标准,更能准确直观地体现站点土壤水分的盈亏状态。不仅在理论上实现了单站单标准,而且地区通用,可全国推广。

$$W_{RH} = \frac{WP}{FC} \times 100\% \quad (2)$$

式中, W_{RH} —土壤相对凋萎湿度(%), WP —土壤凋萎湿度(%), FC —土壤田间持水量(%).

三类墒情 R 范围:

$$W_{RH} \sim W_{RH} + \frac{1}{3}(FC_{RH} - W_{RH}) \quad (3)$$

二类墒情 R 范围:

$$W_{RH} + \frac{1}{3}(FC_{RH} - W_{RH}) \sim W_{RH} + \frac{2}{3}(FC_{RH} - W_{RH}) \quad (4)$$

以土壤相对凋萎湿度为 3 类墒情的底限,以田间持水量(即土壤相对湿度 100%)为土壤一类墒情的上限等间距划分来确定一、二、三类土壤墒情等级,因为有效水范围为 100% 土壤相对湿度减去土壤凋萎湿度,所以二类土壤墒情下限为土壤凋萎湿度加上 1/3 有效水范围、一类墒情的下限为土壤凋萎湿度加上 2/3 有效水范围。使用者也可以根据实际需要分成五类墒情,也可以根据应用结果在划分上进行适当调整,本文只对等间距划分的三类墒情等级进行结论分析。

3 结果与分析

3.1 内蒙古自动土壤水分观测站凋萎湿度与田间持水量空间分布

内蒙古地区 0~20 cm 土层凋萎湿度的波动范围为 0.55%~14.1%,其中大于 6.0% 的偏高区域主要集中在内蒙古东部,中西部大部地区凋萎湿度小于 4.0%,其中锡林郭勒盟大部、鄂尔多斯市中部、巴彦淖尔市北部和阿拉善盟地区具有区域特征。凋萎湿度在 2%~4% 的区域主要集中在乌兰察布市、呼和浩特市、包头市和鄂尔多斯市东部;介于 4%~6% 的区域主要集中在东部偏南三个盟市和河套地区,其余地区为零星分布(图 3a)。0~20 cm 土层田间持水量波动范围为 5.9%~36.9%,大于 30% 的偏

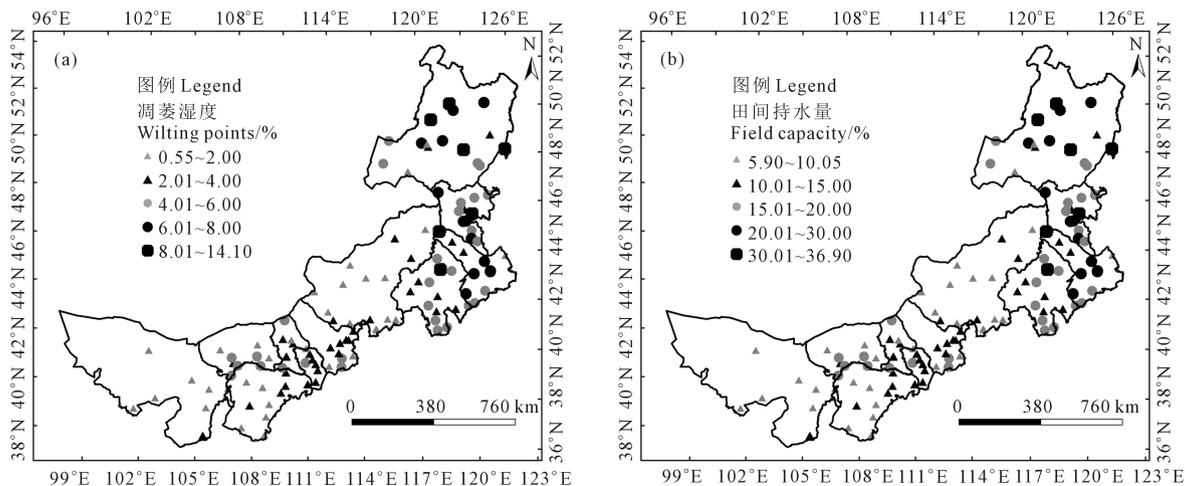


图 3 内蒙古自动土壤水分观测站 0~20 cm 土层凋萎湿度 (a) 与田间持水量 (b) 空间分布
Fig.3 Soil wilting points (a), field capacity (b) in 0~20 cm soil depth, and spatial distribution of automatic soil moisture observatory in Inner Mongolia

高区域主要集中在呼伦贝尔市、兴安盟中部,大于 20% 区域主要集中在东部区和河套地区。田间持水量小于 15% 的地区主要分布在锡林郭勒盟大部、鄂尔多斯市大部和阿拉善盟大部。介于 15%~20% 的区域主要集中在赤峰市和阴山山脉地区 (图 3b)。整体来看,东部区和阴山山脉和河套地区田间持水量相对较高,其余地区整体偏低。

3.2 内蒙古自动土壤水分观测站相对凋萎湿度空间分布

内蒙古地区土壤水分观测站点 (0~20 cm 土层) 相对凋萎湿度波动范围 6.57%~55.15%, 东部偏南大部地区即使土壤相对湿度达到 30% 以上, 也处于无效水的范畴, 而锡林郭勒盟大部只要大于 15% 就处于有效水范畴, 地区差异明显。空间分布上相对凋萎湿度 (0~20 cm 土层) 大于 30% 的偏高区域主要集中在东部偏南和呼伦贝尔市, 呼和浩特市、包头市和鄂尔多斯市的零星分布更多是因为局地小环境引起的, 没有区域代表性。低于 20% 的站点主要集中在中西部大部地区, 其中巴彦淖尔市北部、锡林郭勒盟和阿拉善盟全境都小于 20%, 区域性特征明显, 上述地区也是典型的草原区和荒漠区。相对凋萎湿度含水量介于 20%~30% 地区主要集中在东部区、阴山山脉和河套地区, 乌兰察布市和鄂尔多斯市为零星分布 (图 4)。整体来看, 内蒙古地区相对凋萎湿度东部区高于中西部区, 其中东部偏南区偏高尤为明显。呼伦贝尔市相对凋萎湿度较高, 但站点差异较大, 所以内蒙古东北地区站点间土壤墒情评估要区别对待、具体分析, 以免给地区干旱评估带来不利影响。

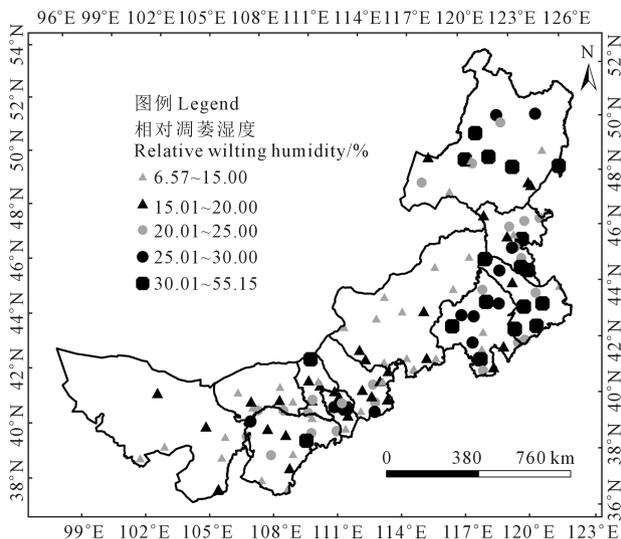


图 4 内蒙古自动土壤水分观测站 0~20 cm 土层相对凋萎湿度空间分布
Fig.4 Relative soil wilting humidity in 0~20 cm soil depth spatial distribution of automatic soil moisture observatory in Inner Mongolia

3.3 内蒙古自动土壤水分观测站二、三类墒情上限空间分布

内蒙古三类墒情上限土壤相对湿度波动范围 37.7%~70.1%, 其中小于 45% 的地区主要分布在锡林郭勒盟草原区、鄂尔多斯市南部、巴彦淖尔市北部和阿拉善盟东南大部, 其余地区以零星分布为主; 45%~50% 的站点主要分布在兴安盟北部、乌兰察布市和河套地区; 大于 55% 的地区主要集中在内蒙古东部 (图 5a)。二类墒情上限与三类墒情上限具有高度的一致性, 相对湿度小于 72.5% 的地区主要分布在呼伦贝尔市大兴安岭东西两侧、锡林郭勒盟草原区、鄂尔多斯市南部、巴彦淖尔市北部和阿

拉善盟东南大部;二类墒情上限大于 75%的站点主要分布在东部,中西部区零星分布(图 5b)。整体来看,二、三类墒情上限偏高区域主要集中在东部以及呼、包、鄂和河套地区;偏低区主要集中在呼伦贝尔市大兴安岭两侧、锡林郭勒盟草原区和西部大部地区。

3.4 自动土壤水分观测站二、三类墒情上限与现行标准差异

当前内蒙古使用 0~20 cm 土层深度平均土壤相对湿度进行墒情等级评估,评估指标参见“内蒙古农田、草地土壤相对湿度等级指标”^[15]。按 5 个

等级划分为:过湿墒情、一类墒情、二类墒情、三类墒情、极干墒情(见表 2)。同类的还有中华人民共和国水利行业标准干旱等级标准(SL424—2008)^[8]、国家防汛抗旱总指挥部 2006 年 18 号文件(干旱评估标准)等(见表 3),所有上述墒情和干旱标准只是划分的区间略有差异,但内蒙古地区无效土壤相对湿度范围为 6.57%~55.15%,在如此波动大的地区应用统一标准存在明显的缺陷,这也是本文首次提出单站单标准的根本原因,只有这种土壤水分监测指标的改良才能更好体现较低含水量在地区间的干旱表现差异。

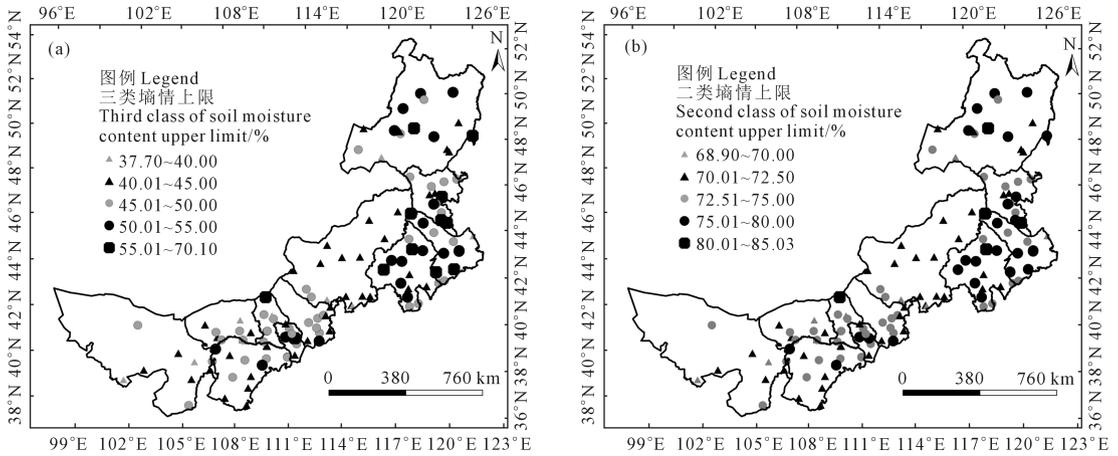


图 5 内蒙古自动土壤水分观测站 0~20 cm 土层三类墒情(a)、二类墒情(b)上限空间分布

Fig.5 The second class of soil moisture content (a), third class of soil moisture content (b) upper limit value in 0~20 cm soil depth spatial distribution of automatic soil moisture observatory in Inner Mongolia

表 2 内蒙古农田草地土壤相对湿度等级

Table 2 Soil relative humidity level of farmland and grassland in Inner Mongolia

墒情等级 Soil moisture level	农田土壤相对湿度 ^[15] Relative humidity of farmland soil/%	草地土壤相对湿度 ^[15] Relative humidity of grassland soil/%	自动土壤水分观测站墒情评估标准范围 The soil moisture assessment range for automatic soil moisture observatory/%
过湿墒情 Excessive soil moisture content	>90	>90	
一类墒情 First class of soil moisture content	75~90	70~90	>85
二类墒情 Second class of soil moisture content	60~75	50~70	69~85
三类墒情 Third class of soil moisture content	45~60	30~50	38~70
极干墒情 Very dry soil moisture	<45	<30	

表 3 同类标准土壤相对湿度干旱等级标准

Table 3 Soil relative humidity and drought level standards of similar standard

标准名称 Standard	划分指标 Dividing indicator	干旱等级 Drought grade			
		轻度干旱 Mild drought	中度干旱 Moderate drought	严重干旱 Severe drought	特大干旱 Extremely drought
中华人民共和国水利行业标准干旱等级标准 Drought standard of water conservancy industry standard of People's Republic of China(SL424-2008)	土壤相对湿度 R/% Relative soil moisture	50<R≤60	40<R≤50	30<R≤40	R≤30
国家防汛抗旱总指挥部 2006 年 18 号文件(干旱评估标准) State Flood Control and Drought Relief Headquarters Document No.18 of 2006 (Drought assessment criteria)	土壤相对湿度 R/% Relative soil moisture	55≤R<60	45≤R<55	40≤R<45	R<40

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 凋萎湿度整体偏高区域主要集中在内蒙古东部区和河套地区,相对偏低区域主要在锡林郭勒盟和西部区。田间持水量偏高区主要集中在东部区、河套地区和阴山山脉周边,草原和荒漠区相对偏低。从地理位置来看,两种土壤水分常数东部区>中部区>西部区>锡林郭勒盟草原区,凋萎湿度的波动范围要明显大于田间持水量。

(2) 整体来看内蒙古地区相对凋萎湿度东部区高于中西部区,其中东部偏南区偏高尤为明显。相对凋萎湿度波动范围 6.57%~55.15%,最高值和最低值相差 8 倍,相差 2 倍以上的站点占 40%以上,其中锡林郭勒盟偏低尤为明显,主要是草原区凋萎湿度偏低导致。

(3) 内蒙古二、三类墒情波动范围分别为 37.71%~70.07%和 68.86%~85.05%,上限偏高区域主要集中在东部四盟市,呼、包、鄂以及河套地区;偏低区主要集中在呼伦贝尔市大兴安岭两侧、锡林郭勒盟草原区和西部大部地区,因二、三类墒情划分都主要依据站点土壤水分常数,空间分布具有高度的一致性。从土地利用分区来看,农林区域要明显大于草原区,其中内蒙古中西部的乌兰察布—土默川农业区、阴山丘陵农业区、河套灌区要明显高于周边草原区。

4.2 讨论

随着自动土壤水分观测站在内蒙古地区的大量建立,土壤水分测定连续又便捷,同时自动站安装地点受到诸多因素的影响,如当地气象服务以农作物为主,观测站就安装在典型农作物区,如果以牧业为主则安放在草原区;考虑到设备保护和维护等因素,多数都安装在气象站的观测场内,导致部分自动水分观测站数据具有小生境^[17]影响的随机性,个别站点土壤水分含量的高低在统一标准下的区域代表性有待商榷。特别是相同土壤湿度在不同地区间的表现特征差异,怎样修订土壤水分的监测指标,从而更准确直观地表征监测站在区域土壤水分盈亏状态的位置,是当前干旱评估急需解决的问题。研究结果也表明,包头市北部的满都拉、鄂尔多斯市伊金霍洛旗的相对凋萎湿度比周边站点偏高,主要是因为站点田间持水量偏低同时凋萎湿度偏高共同引起,更多是站点土壤质地的原因,如果不区别对待,在统一标准下应用就会降低干旱评

估的敏感性。从区域上看,内蒙古地区墒情等级东部偏高、中西部荒漠和草原区明显偏低,如果全区仍然沿用统一的分类标准,同样存在这种问题,如果做不到站点土壤水分监测指标的修订,很难体现受到局地环境影响较大站点的土壤水分实际状况。比如呼伦贝尔市相对凋萎湿度包含了 5 种分类,导致地区二、三类墒情存在明显的差异,所以土壤水分监测指标的修订尤为必要。在土壤墒情等级评估中引入土壤有效水下限的概念,利用土壤提供给植物有效水能力的上、下限,这种改进的土壤墒情等级,能更好体现较低含水量在地区间的干旱表现差异。不难推断,此项研究成果不仅可以准确描述土壤提供有效水的能力,同时可为其他部门和省市进一步改良干旱评估提供新的借鉴思路。

参考文献:

- [1] 李敬亚,侯显达,侯彦林,等.间隔天数统计法土壤墒情诊断模型[J].生态学杂志,2017,36(12):3365-3371.
- [2] 米长虹,丁健,刘书田,等.墒情诊断模型的评价[J].生态学杂志,2017,36(12):3443-3447.
- [3] 陈金华,杨再强,杨天明,等.安徽省土壤水分监测预测系统[J].应用气象学报,2011,22(2):249-256.
- [4] 张文,任燕,马晓琳,等.基于综合干旱指数的淮河流域土壤含水量反演[J].国土资源遥感,2018,30(2):73-79.
- [5] 张巧凤,刘桂香,于红博,等.锡林郭勒草原土壤含水量遥感反演模型及干旱监测[J].草业学报,2017,26(11):1-11.
- [6] 姜雪芹,叶勤,林怡,等.基于谐波分析和高光谱遥感的土壤含水量反演研究[J].光学学报,2017,37(10):300-310.
- [7] 李友文,李春梅,郝璐.我区农田、草地土壤墒情类型及其相对含水率等级指标的确定[J].内蒙古气象,1999,(4):24-28.
- [8] 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,2008:21-23.
- [9] 吕厚荃,张玉书,李茂,等.GB/T32136—2015.农业干旱等级[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [10] 乌兰,乌兰巴特尔,李云鹏.内蒙古生态与农业气象中心服务体系研究[M].北京:气象出版社,2009:83-85.
- [11] 中国气象局.农业气象观测规范[M].北京:气象出版社,1993:10-22.
- [12] 中华人民共和国水利部.SL 364—2007 土壤墒情监测规范[S].北京:中国水利水电出版社,2006:48-50.
- [13] Scott H D. Soil Physics: Agricultural and Environmental Applications [M]. Iowa: Iowa State University Press, 2000:350-352.
- [14] 郭庆荣,张秉刚.土壤水分有效性研究综述[J].热带亚热带土壤科学,1995,4(2):119-124.
- [15] 李友文.DB15/T510—2012 内蒙古农田、草地土壤相对湿度等级指标[S].呼和浩特:内蒙古自治区质量技术监督局,2012:3-4.
- [16] 北京林业大学.土壤学[M].北京:中国林业出版,2001:152-153.
- [17] 李增尧,赵兴凯,朱清科.陕北黄土区微地形土壤有效水饱和度[J].干旱地区农业研究,2017,35(4):88-94.