

“最严格水资源管理制度”对京津冀地区农业干旱的影响

刘海新, 高叶鹏, 王炜

(河北工程大学, 矿业与测绘工程学院, 河北 邯郸 056038)

[摘要] 京津冀地区多年来一直是水资源匮乏的区域, 近年来随着“最严格水资源管理制度”的落实, 当地的农业生产和社会经济的发展受到了严重制约。因此, 系统研究京津冀地区的干旱情况, 精确预测和评估旱情发生的规律和危害, 可为区域水资源调控和相关部门决策提供科学依据, 并对未来农业用水提供合理的解决方案。基于 2000–2016 年 5–10 月份 MODIS NDVI 和 LST 月数据, 利用 TVDI 模型对京津冀地区进行干旱监测, 探讨其干旱的时空分布, 在此基础上, 结合 MCD12Q1 Land cover type2 土地覆盖数据的马里兰分类方案, 将土地覆盖分类修改合并为两大类: 农用地和非农用地, 作为提取农用地 TVDI 的底图, 并进一步分析农用地受灾的情况。结果表明: 2013 年之后, “最严格水资源管理制度”的提出对京津冀农用地影响非常大, 在很大程度上导致农用地干旱面积增加。

[关键词] 京津冀; 农业干旱; 最严格水资源管理制度; TVDI

doi: 10. 3969/j. issn. 1673-9477. 2020. 03. 002

[中图分类号] F326. 1

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-9477(2020)03-009-05

一、引言

干旱是一种周期性频发的自然灾害之一^[1]。近年来, 受到全球气候变暖以及极端天气频发的影响, 干旱已演变成一种常态化现象, 每年都会有一定程度的干旱现象发生^[2-3]。农业是受干旱影响的高危行业, 农作物对干旱尤为敏感, 干旱不仅会影响农作物产量导致农作物减产甚至是绝产, 而且每年因干旱造成的经济损失也在逐年增加。农业干旱之所以成灾, 往往是由于气候因子引起的, 气候的变化会影响降水的分布和时空格局, 造成地区水资源供需失衡^[4]。为解决我国复杂的水资源和水环境问题, 2012 年 1 月国务院基于国情发布了《关于实行最严格水资源管理制度的意见》(以下简称“最严格水资源管理制度”), 对区域农业用水和水资源调配等问题提出了严格的要求^[5]。京津冀地区作为我国重要的政治、经济中心, 人口密集, 对农产品的需求量非常大, “最严格水资源制度”的提出给京津冀地区农业生产带来了严峻的考验, 今后如何保障该地区农作物正常的生长发育和产量是京津冀目前面临的一个难题^[6]。因此, 深入研究京津冀地区干旱的特点和规律, 对于建立干旱预警机制以及保障该地区粮食安全具有非常重要的实用价值。

近些年, 随着遥感技术的快速发展, 影像的分辨

率越来越高, 遥感数据的种类和光谱信息也愈加丰富, 因而也衍生出一系列遥感干旱监测指数^[7-8]。目前, 国内外开展干旱监测研究主要是利用各种干旱监测指数^[9], 例如, 沙莎^[10]等人利用归一化植被指数(NDVI)数据反演出植被状态指数(VCI), 并将其用于河南省干旱监测; Kogan^[11]在植被状态指数(VCI)的基础上, 提出了温度状态指数(TCI), 随之更多的学者^[12-14]在该指数的基础上进行了广泛的研究, 将其应用于各种区域的干旱监测; 刘安麟^[15]、申广荣^[16]、王玉娟^[17]等人基于热量平衡原理构建的作物缺水指数模型(CWSI), 分别将其用于黄淮海、陕西关中和渭河流域等地区的干旱监测, 并取得了很好的效果; Sandholt^[18]等人在前人 Nemani 等的植被供水指数和 Moran 的梯形理论研究的基础之上, 提出了基于植被指数(VI)和陆地表面温度(LST)的温度植被干旱指数(TVDI), 随之更多的学者^[19-23]利用其进行了大量的研究, 研究表明结合土壤水分和植被状况在干旱监测中相较其他指数监测效果更好。

京津冀地区是一个干旱频发的区域, 严重的干旱灾害制约着该地区农业生产和社会经济的稳定发展, 目前针对该地区长时间序列的农业干旱研究还相对较少, 鉴于此, 本文基于 2000–2016 年每年 5–10 月份的 MODIS NDVI 和 LST 数据拟合构建的 TVDI 模型对京津冀地区进行干旱监测, 分析京津冀地区干旱的时

[投稿日期] 2020-08-10

[基金项目] 河北省社会发展研究课题(编号: 2019031203003)

[作者简介] 刘海新(1980-), 男, 山东栖霞人, 副教授, 博士, 研究方向: 生态环境和农业遥感。

空分布,进一步研究农用地的干旱状况,并重点探讨“最严格水资源管理制度”的颁布对农业干旱的影响,以期对京津冀地区干旱监测与旱情评估提供科学的参考依据,为未来农业发展打下坚实的基础。

二、研究区概况

京津冀地区即首都经济圈,范围包括北京市、天津市以及河北省 11 个地级市(石家庄、保定、承德、邯郸、邢台、衡水、沧州、张家口、秦皇岛、廊坊、唐山)。京津冀地区介于东经 $113^{\circ}27'$ ~ $119^{\circ}50'$ 、北纬 $36^{\circ}05'$ ~ $42^{\circ}40'$ 之间,土地覆盖面积达到 21.6 万平方公里,地势整体呈现北高南低,其北为燕山,南属华北平原地势平坦,西依太行山,西北为坝上高原,东与渤海相接,境内还有众多河流。京津冀地区属于温带大陆性季风气候,其特点是四季分明、光照时间充足、降水波动较大且存在明显的区域差异,降水东南多西北少,雨水大部分集中在夏季,易形成旱涝灾害,对农业生产有一定影响。京津冀地区人口密集,人口流动性大,外来人口居多,常住人口大约在一亿左右,对粮食的需求量大,保障粮食的基本供应对于该地区具有重要的实际意义。京津冀地区也是我国重要的粮食种植基地,主要农作物是一年两熟两作的小麦和玉米,其他作物还有棉花、果树、蔬菜等,而且小麦和玉米等属于高强度耗水作物,每年需要消耗大量的水资源。

三、数据及研究方法

(一) 数据来源及数据处理

本文选取的遥感数据为每年 5-10 月份空间分辨率为 1Km 的 MODIS 数据,包括归一化植被指数(NDVI)数据产品和地表温度(LST)产品,数据时间跨度为 2000-2016 年,共计 17 年。其中 MODIS 数据产品来源于两部分:一部分来源于地理空间数据云 2000-2010 年 MODIS 中国合成产品;剩下的 2011-2016 年数据来源于 NASA 官网,包括 8 天合成的 MOD11A2 地表温度/反射率数据和 MOD13A3 植被指数月数据。其中 MOD11A2 和 MOD13A3 需经过 MRT 进行预处理(拼接和重投影),获得 LST 和 NDVI 波段信息。

降水量数据来源于中国气象数据共享网的中国地面气候资料月值数据集,时间跨度为 MODIS 影像数据对应的 2000-2016 年。

土地覆盖类型数据采用 NASA 官网下载的 MODIS MCD12Q1 500m 的 3 级陆地标准数据产品,该产品采用五种不同的土地覆盖分类方案:国际地圈生

物圈计划(IGBP)的全球植被分类方案、美国马里兰大学(UMD 格式)方案、基于 MODIS 叶面积指数/光合有效辐射方案、基于 MODIS 衍生净初级生产力(NPP)方案,该数据产品主要的提取技术是监督分类和决策树分类法。本文选择马里兰大学的分类方案,利用 MRT 提取 Land cover type2 数据,并重采样到 1km 空间分辨率。Land cover type2 包含 17 个主要土地利用覆盖类型,本文在其基础上进行修改、合并并获得主要的土地覆盖类型。

(二) 研究方法

1. 最大值合成法

最大值合成法 MVC^[24](Maximum Value Composites)即从几幅影像中取最大值重新生成一副新的影像,该方法可以有效减少影像噪声、云、大气、太阳高度角等的影响,大大提高影像的质量。本文利用该方法将 8 天合成的地表温度数据合成月数据产品,以达到和 NDVI 相同的时间分辨率。

2. 温度植被干旱指数法(TVDI)

地表温度(LST)和归一化植被指数(NDVI)之间存在着明显的负相关关系,二者结合可以更好地反映植被生长状况和土壤湿度的信息。温度植被干旱指数(TVDI)^[25]即通过拟合 LST 和 NDVI 构建特征空间,用于干旱监测,其计算公式如下:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{min}}}{T_{s_{max}} - T_{s_{min}}} \quad (1)$$

$$T_{s_{max}} = a_1 + b_1 \times NDVI \quad (2)$$

$$T_{s_{min}} = a_2 + b_2 \times NDVI \quad (3)$$

式中 T_{smin} 是最低地表温度($^{\circ}C$), T_{smax} 是相同 NDVI 值条件下最高地表温度($^{\circ}C$), a_1 , a_2 , b_1 , b_2 是干湿边拟合模型的系数。

TVDI 取值范围介于 0-1 之间, TVDI 值越大,干旱程度越严重,反之则越低^[26]。本文根据前人研究^[27-28]将 TVDI 划分为 5 个等级,具体划分结果如表 1 所示。

表 1 TVDI 分级表

TVDI	等级
0-0.2	非常湿润
0.2-0.4	湿润
0.4-0.6	正常
0.6-0.8	干旱
0.8-1	严重干旱

四、结果与分析

(一) 京津冀地区干旱时空分布年变化

由于 5 月前的植被长势不够稳定, NDVI 值偏

低,易导致 TVDI 模型的计算精度差,因此,本文通过 TVDI 模型计算了 2000–2016 年每年 5–10 月份的 TVDI,并对每年 5–10 月份 TVDI 结果进行平均处理,获得 TVDI 平均分级图,结果表明,京津冀地区干旱情况整体上是北旱南湿,干旱地区主要集中在北部张家口以及承德以北等地区,严重干旱地区大多位于张家口地区,但在 2013 年之后,干旱情况发生变动,出现由北向南偏移的现象,干旱开始集中在南部平原地区。

张家口地区素有“十年九旱”之称,属于典型的缺水型区域。该地区位于坝上高原,海拔较高,地形上又受到燕山和太行山两座天然屏障对水汽的阻挡,导致水汽资源减弱,降水量比较偏少,因而干旱现象频发。另该地区处于半干旱地区,邻接内蒙古,生态环境恶劣,风沙现象严重,地表蒸发量较高,这也是致使该地区长期以来经常性干旱的重要原因。

干旱地区在 2013 年之后出现了转折,重心开始逐渐由北部向南部地区偏移,干旱地区大面积出现在京津冀南部地区,北部只有零星的干旱地区存在,甚至到 2015 年之后北部严重干旱地区基本消失,只有少数地区较为干旱,而南部地区干旱现象却开始加剧,局部地区出现严重干旱现象。这一现象的发生是由于京津冀南部地区是重要的粮食种植基地,农用地在南部地区占有很大的比例,而且该地区主要农作物是小麦和玉米等高强度耗水作物,对水资源需求量非常大。

目前,京津冀农业灌溉用水主要来源于地下水,但由于长期的利用地下水,近几年地下水位下降严重,同时 2013 年 6 月河北省响应“最严格水资源管理制度”的政策,开始实施对地下水开采进行了限制的措施,进一步加剧了该地区农业用水的紧张,因而也是导致南部地区 2013 年之后会出现大面积干旱现象的重要原因。而张家口北部等地区是我国重要的防护林基地,经过几十年的生长发育,林木已具有一定规模,对于生态环境有了极大地改善,可以有效减缓地表水分蒸发的速度,而且林木对水分具有重要的涵养作用,可以降低地表温度,减少水分流失,这也是该地区干旱现象缓解的重要原因。

比较研究期 TVDI 计算结果发现,湿润地区在 2013 年之前主要集中在以北京为核心的周边地区和沿海地区 2013 年之后开始向北和沿海地区转移。据统计,在 2000–2016 年之间,京津冀地区人口一直呈现上升的趋势,激增的人口使得对水资源的需求量也在逐渐加大,同时城市扩张速度加快,城市热岛效应加剧,导致地表温度急剧上升;另外社会经济有

了长足发展,京津冀地区产业结构发生了重大变化,第二产业占据了经济的核心,水资源有一部分开始向第二产业倾斜,导致部分农业用水被占据,加之工厂污染物和化肥农药的使用加速了水质的下降,加剧了水资源短缺的局面,这也是造成北京地区水资源短缺的重要因素。另外受到水资源灌溉设备的落后,水资源浪费现象严重,导致水资源分配不均,部分地区由于水资源不充分,出现严重的干旱现象。

(二) 京津冀地区农用地干旱统计分析

京津冀地区农用地占据了总面积的 51.25%,直接关系到当地的第一产业发展。本文以研究区域土地覆盖类型为底图提取京津冀农用地的干旱情况,并分别对农用地干旱和严重干旱的受灾面积进行统计。

干旱统计结果表明,在 2000–2016 年期间,干旱在农作物的生长阶段一直存在,就月份来看,农用地大面积干旱主要发生在 5 月、6 月和 10 月这三个月份,这与京津冀整体的干旱情况大体一致,干旱前半季度比后半季度形势较为严峻,另外最不容易发生干旱的月份是 7 月和 8 月,这与京津冀大陆性季风气候的特点相吻合,降雨主要集中在这一阶段,使干旱受灾情况在一定程度有所缓解;从年份的角度来看,在 2012 年之前京津冀地区农用地干旱情况逐年有所减缓,但在 2012 年之后干旱情况出现转折,之后几年里农用地受灾面积越来越大,其中在 2015 年农用地干旱受灾情况最为严重,除 7 月和 10 月份之外其他月份干旱面积高达 50% 以上。

严重干旱统计表明,2000–2013 年期间,京津冀农用地严重干旱面积占比相对较小而且整体波动幅度不大,受灾严重月份主要集中在每年五月;2014 年之后,严重干旱面积占比出现激增,到 2015 年达到最大,增幅达到 1.91%,2016 年之后严重干旱面积仍保持较大的占比。

为进一步分析“最严格水资源管理制度”对农业干旱的影响,本文将干旱及严重干旱占农用地的百分比进行了累计,并获取研究期 5–10 月份月均干旱及严重干旱所占百分比。同时,对研究区内 2000–2016 年 5–10 月份的累计降水量进行平均处理,获取月均降水量。图 1 为月均干旱及严重干旱所占比例及月均降水量的统计图,从图中可以看出,2000–2016 年 5–10 月的月均降水量变动幅度不大,在 1000–1500 mm 附近震荡;而同期的干旱及严重干旱面积在 2012 年之前较为平稳,而 2013 年以后开始增长,尤其是在 2015 年和 2016 年度,出现了大幅度增加趋势,其所占比例高达 70%~80%。

“最严格水资源管理制度”的实施导致地下水开采受到极大的限制,而研究区的农业灌溉主要采用地下水,由此造成研究区农业干旱加剧。因此,有

必要在“最严格水资源管理制度”下,基于作物的需水量和作物的生长发育周期以及其生长过程中所需的化肥农药对研究区的种植结构进行调整。

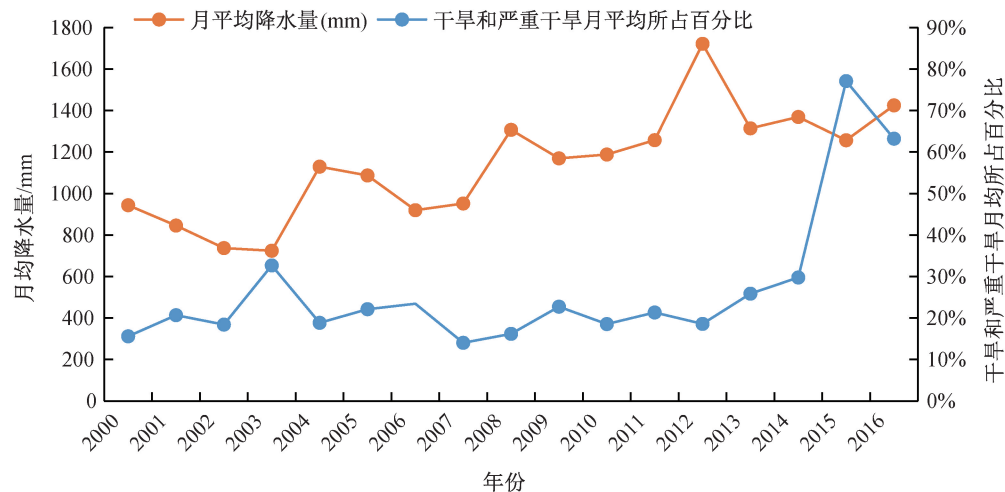


图1 降水量与农用地干旱和严重干旱月平均百分比对比图

五、结论与讨论

本文以2000-2016年5-10月份MODIS数据为基础,基于TVDI模型,对京津冀地区干旱情况进行了系统的研究,分析其干旱的时空变化,并重点研究农用地的干旱情况,得到如下结论:

(一)京津冀是一个干旱频发的区域,有多年连续干旱的现象,其干旱主要集中在北部张家口和承德以北等地区;南部地区作为京津冀重要的农业种植基地,在2012年之前干旱情况属于正常水平,自河北省2013年6月积极响应“最严格水资源管理制度”后,受地下水开采的限制,农业干旱开始加剧。

(二)京津冀干旱主要发生在5-7月份,8月之后由于大陆性季风气候的特点,降水比较多,干旱情况就相对有所减缓。

本文的研究结果证实TVDI在京津冀地区有很好的适用性,其研究结果可为未来干旱政策制定和实施提供数据支持。当然,京津冀地区由于地形复杂多变,气候类型多样,土地覆被类型不尽相同,而且京津冀城市化发展较快,政策变化大而且实施快,因而卫星数据可能与地面的实际状况存在一定的匹配问题;同时,受MODIS数据更新的影响,本文仅研究至2016年,随着遥感数据的不断更新,后续将进行持续研究,更深入地探讨“最严格水资源管理制度”对农业干旱的影响。

参考文献

[1] 张小强, 冯彬, 王云燕. 运用MODIS对我国西南地区极端干旱情况监测与评估研究——以2009-2010年遥感数

据为例[J]. 环境保护科学, 2020, 46(01): 135-141.

[2] 庞素菲, 魏伟, 郭泽呈, 等. 基于TVDI的甘肃省农业旱情特征及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2019, 38(06): 1849-1860.

[3] 杜灵通, 候静, 胡悦, 等. 基于遥感温度植被干旱指数的宁夏2000-2010年旱情变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 209-216.

[4] 赵广敏, 李晓燕, 李宝毅. 基于地表温度和植被指数特征空间的农业干旱遥感监测方法研究综述[J]. 水土保持研究, 2010, 17(05): 245-250.

[5] 曾春芬, 马劲松, 曹明霖, 等. 基于最严格水资源管理制度的水资源利用考核关键技术研究——以南水北调东线江苏省受水区为例[J]. 水利水电技术, 2018, 49(11): 22-29.

[6] 王思楠, 李瑞平, 韩刚, 等. 基于多源遥感数据的TVDI方法在荒漠草原旱情监测的应用[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(03): 458-464.

[7] 焦文哲. 利用遥感指数监测干旱的时空敏感性与适用性对比研究[D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所), 2017.

[8] 陈燕丽, 黄思琦, 莫建飞, 等. 基于CLDAS数据的甘蔗干旱监测评估标准对比——以2011年广西干旱为例[J]. 干旱气象, 2020, 38(02): 188-194.

[9] 周洪奎, 武建军, 李小涵, 等. 基于同化数据的标准化土壤湿度指数监测农业干旱的适宜性研究[J]. 生态学报, 2019, 39(06): 2191-2202.

[10] 沙莎, 郭锐, 李耀辉, 等. 植被状态指数VCI与几种气象干旱指数的对比——以河南省为例[J]. 冰川冻土, 2013, 35(04): 990-998.

[11] F. N K. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas[J]. International Journal of Re-

- Remote Sensing, 1990, 11(8).
- [12] 刘晓静, 张继权, 马东来. 基于 MODIS 数据的辽西北地区玉米干旱脆弱性评价研究[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(11): 44-49.
- [13] 高伟, 林妍, 潘新华. 基于多源遥感卫星数据的桂西北旱情监测研究[J]. 广西水利水电, 2014(01): 20-24.
- [14] 焦险峰, 杨邦杰, 裴志远, 等. 基于植被指数的作物产量监测方法研究[J]. 农业工程学报, 2005(04): 104-108.
- [15] 刘安麟, 李星敏, 何延波, 等. 作物缺水指数法的简化及在干旱遥感监测中的应用[J]. 应用生态学报, 2004(02): 210-214.
- [16] 申广荣, 田国良. 基于 GIS 的黄淮海平原旱灾遥感监测研究——作物缺水指数模型的实现[J]. 生态学报, 2000(02): 224-228.
- [17] 王玉娟, 王树东, 曾红娟, 等. 基于作物缺水指数法的渭河流域干旱特征[J]. 干旱区研究, 2014, 31(01): 118-124.
- [18] Inge S, Kjeld R, Jens A. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 79(2).
- [19] 王金鑫, 于百顺, 李聪玲, 等. 多种植被指数与土壤墒情响应关系对比分析[J]. 节水灌溉, 2020(03): 50-56.
- [20] 郑发美, 白建军. 基于地形因子的 TVDI 修正——以陕西省为例[J]. 干旱区研究, 2018, 35(05): 1223-1233.
- [21] 王丽霞, 王金亮, 刘广杰. 基于 TVDI 的滇西北土壤水分反演研究[J]. 环境科学导刊, 2017, 36(02): 7-11.
- [22] 王一昊, 武永峰, 张立亭, 等. 基于 TVDI 的东北地区春玉米干旱监测——以 2018 年为例[J]. 河南农业科学, 2020, 49(03): 167-180.
- [23] 王鑫, 陈东东, 李金建. 基于 MODIS 的温度植被干旱指数在四川盆地盛夏干旱监测中的适用性研究[J]. 高原山地气象研究, 2015, 35(02): 46-51.
- [24] 程杰, 杨亮彦, 黎雅楠. 2000—2018 年陕北地区 NDVI 时空变化及其对水热条件的响应[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(05): 111-119.
- [25] 王汉文, 原喜忠, 雷胜友, 等. 基于 TVDI 的不同土地类型土壤湿度趋势研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2020, 39(05): 50-60.
- [26] 姜亚珍, 张瑜洁, 孙琛, 等. 基于 TVDI 河北省干热风同期土壤湿度监测研究[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(03): 442-450.
- [27] 程伟, 辛晓平. 基于 TVDI 的内蒙古草地干旱变化特征分析[J]. 中国农业科学, 2020, 53(13): 2728-2742.
- [28] 陈斌, 张学霞, 华开, 等. 温度植被干旱指数(TVDI)在草原干旱监测中的应用研究[J]. 干旱区地理, 2013, 36(05): 930-937.

[责任编辑 王云江]

Impact of "The strictest water resources management system" on agricultural drought in Beijing-tianjin-hebei region

LIU Hai-xin, GAO Ye-peng, WANG Wei

(College of Mining and Geomatics, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: The Beijing-Tianjin-Hebei region has been a water-poor area for many years. In recent years, with the implementation of the "strictest water resources management system", the local agricultural production and social and economic development have been severely restricted. Therefore, systematically studying the drought situation in the Beijing-Tianjin-Hebei region, accurately predicting and assessing the laws and hazards of drought occurrence, can provide scientific basis for regional water resources regulation and decision-making by relevant departments, and provide reasonable solutions for future agricultural water use. Based on the monthly MODIS NDVI and LST data from May to October in 2000-2016, this paper uses the TVDI model to monitor droughts in the Beijing-Tianjin-Hebei region, and discusses the temporal and spatial distribution of droughts. On this basis, combined with MCD12Q1 Land cover type 2 land cover data In the Maryland classification scheme, the land cover classification was revised and merged into two categories: agricultural land and non-agricultural land, as a base map for extracting TVDI of agricultural land, and further analysis of the disaster situation of agricultural land. The results show that after 2013, the proposal of the "strictest water resources management system" has a great impact on agricultural land in Beijing-Tianjin-Hebei Region, which will lead to an increase in the arid area of agricultural land to a certain extent.

Key Words: Beijing-Tianjin-Hebei; agricultural drought; the strictest water resources management system; TVDI