

李洪源,邱新法,曾 燕,等. 温度植被干旱指数、干燥度指数、水体分布与干湿特征的关系[J]. 江苏农业科学,2019,47(6):243-249.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.052

温度植被干旱指数、干燥度指数、水体分布与干湿特征的关系

李洪源¹, 邱新法¹, 曾 燕², 韦翔鸿³, 李建军⁴

(1. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏南京 210044; 2. 江苏省气候中心, 江苏南京 210009;

3. 江苏省丹阳市气象局, 江苏丹阳 212300; 4. 河北省保定市气象局, 河北保定 071000)

摘要: 干湿研究的手段分为站点监测研究与遥感监测 2 种, 由于遥感监测应用较晚, 且不具有明显的周期性, 二者的监测原理不同等原因, 很少有人将 2 种手段的监测结果进行直接的比较研究。本研究基于气象数据和中分辨率成像光谱仪 (moderate-resolution imaging spectroradiometer, 简称 MODIS) 数据, 分别计算得到山东省聊城市干燥度指数 (aridity index, 简称 AI) 和温度植被干旱指数 (temperature vegetation drought index, 简称 TVDI), 基于高分辨率卫星遥感影像数据, 提取聊城市地面详细的水体信息及其分布, 得到水体分布的相对密集区域以及相对稀疏区域, 最后将三者的结果进行对比分析。结果表明, (1) 山东省聊城市 AI、TVDI 之间存在着很大的相关性, 聊城西部地区 2 种指数明显偏高更为干燥, 其中东部、西部 TVDI 均值分别为 0.42、0.53, AI 均值分别为 1.79、1.86; (2) 2 种干湿指数的年尺度上升下降趋势基本吻合, 季节间特征表现形式不同, 但都可以反映相似的干湿状况空间分布规律; (3) 东部、西部河流及缓冲区不覆盖区占东部、西部地区总面积比例分别为 17.37%、37.71%, 也呈现出西部干东部湿的特征, 且与 2 种指数的分布规律相似。

关键词: 干湿特征; TVDI; AI; 河流分布; 山东聊城

中图分类号: S161.3; TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0243-06

降水是一个区域水资源的主要来源, 蒸发则是一个地区水分损失的主要形式, 是地表层水分以及干湿分布规律的重要影响因素, 也是水各种相态转变的主要环节。潜在蒸散是在不考虑其他复杂因素影响的情况下一个地区水分蒸发量的预估值, 也是计算实际蒸散发的关键因素。潜在蒸散发和降水的比值为干燥度指数 (aridity index, 简称 AI), 该指数能够反映一个地区干湿程度, 同时也是反映区域气候的重要指标^[1], 在干湿情况分布以及植被变化研究中被广泛应用。

卫星遥感数据因其覆盖区域广, 空间上连续, 减少大量人工劳动等特点在大面积监测方面具有特殊的优势。利用遥感手段进行大范围干湿监测的研究已经取得很大进展, 发展了许多监测方法和指标。尤其是近年来, 中分辨率成像光谱仪 (moderate-resolution imaging spectroradiometer, 简称 MODIS) 数据具有高时间分辨率、高光谱分辨率、适中空间分辨率等特点, 使得其在干湿的遥感监测中被广泛应用。目前比较常用的干湿遥感监测方法有热惯量法、微波遥感法、蒸散法、植被指数法、温度植被干旱指数法等。其中, 由植被指数 (vegetation index, 简称 VI) 和地表温度 (surface temperature,

简称 TS) 的特征空间搭建而成的温度植被干旱指数 (temperature vegetation drought index, 简称 TVDI) 综合了 2 个参数特有的生理生态意义, 能有效减小植被覆盖度对于干湿情况监测的影响, 准确性更高, 实用性更强, 数据获取较为容易, 计算中各个物理量简单明确, 在气象干湿研究中应用较为广泛。且已在国内许多地方得到验证, 齐述华等通过 TVDI 对我国 2000 年春季干旱情况进行了研究^[2]。范辽生等利用 TVDI 方法反演伏旱期土壤水分变化^[3]。王海等运用 TVDI 监测研究了云南省 2009—2010 年重大干旱情况^[4]。杨曦等研究得出, TVDI 能够表现华北平原不同时空尺度土壤表层的干湿状况差异^[5]。

以往的气象研究更注重于单一方法的大区域大尺度的气象要素研究分析, 很少对气象站点数据与遥感面数据进行对比研究, 也很少对站点数据的时间延续性和遥感数据的瞬时性对实际情况的解读进行仔细探究。其次是没有过多的关注精细化地面要素对于干湿情况的影响, 本研究提出的水体分布, 在实际生活中, 农田的灌溉甚至土壤水分的湿度等要素与各种大小河流水体的广泛分布密不可分。

笔者对比分析利用遥感手段获取的研究区 TVDI 与利用气象数据计算获得的 AI 在研究区干湿空间分布指征上的异同; 并充分利用高分辨率卫星的遥感数据, 在研究区域内, 采用监督分类方法提取出水体分布信息, 进而获取研究区河流缓冲区密度, 并将之与 2 种干旱指数所表达的干湿区域进行空间上的对比分析。

收稿日期: 2017-12-07

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 41330529); 江苏省第四期“333 高层次人才培养工程”科研项目 (编号: BRA2014373); 中国气象局气候变化专项 (编号: CCSF201411)。

作者简介: 李洪源 (1993—), 男, 江苏连云港人, 硕士研究生, 主要从事气候资源与 GIS 应用研究。E-mail: 986971201@qq.com。

通信作者: 邱新法, 博士, 教授, 主要从事应用气象研究。E-mail: xfqiu135@nuist.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 研究区概况和数据来源

山东省聊城市地处鲁西平原,是山东省的西大门,毗邻河南省、河北省,位于华东、华中、华北三大区域交界处(图1)。聊城市位于 $35^{\circ}47' \sim 37^{\circ}02'N$ 和 $115^{\circ}16' \sim 116^{\circ}32'E$ 之间,属半干旱大陆性气候,南北直距为138 km,东西直距为114 km,总面积为8 646.8 km²,其中耕地面积为6 359.6 km²,占总面积

积的73.69%。聊城市境内流经徒骇河、马颊河、京杭大运河,水资源分布不平衡,东部和东南部沿黄河一带水资源较多,西部和西北部地区水资源匮乏^[6]。聊城市乃至山东省在以往的科学研究中经常被认定为干旱或半干旱地区,由于紧邻黄河,过去黄河一直遭受洪水影响,而现在黄河的综合治理使得农业灌溉得以发展,四通八达的河流基本能满足农业发展的需求。

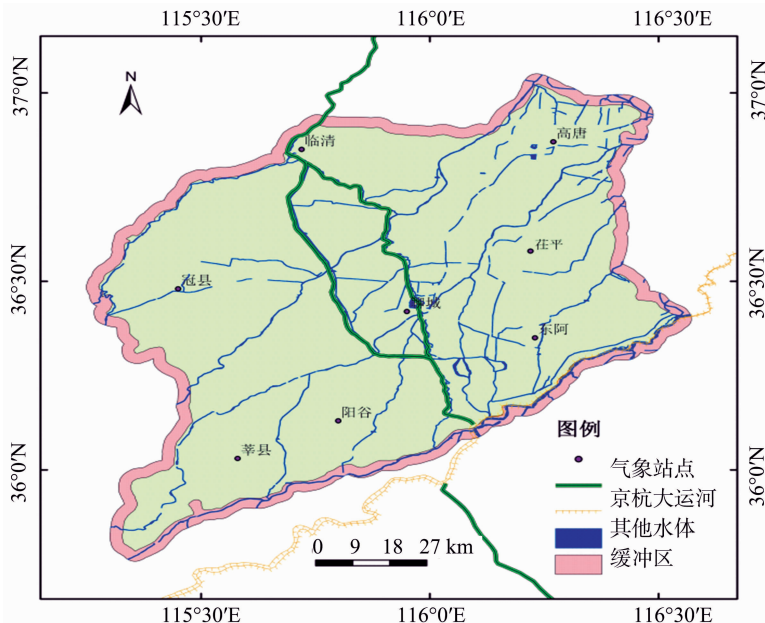


图1 聊城市区域地理位置示意

遥感数据:本研究使用2种遥感数据:(1)来源于谷歌卫星地图下载器下载的普通地图,该地图共有20个缩放级别,由于高缩放级别的地图数据量比较大,本研究选用的缩放级别为12,空间分辨率为69 m,比例尺为1:20万,视点高度为76.5 km;(2)为2000—2014年15年来的MODIS数据,包括MODND1M中国500 m归一化差分植被数(normalized difference vegetation index,简称NDVI)月合成产品和MODL1M中国1 km地表温度(land surface temperature,简称LST)月合成产品,该数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://www.gscloud.cn>)。

气象站点数据:选取山东省聊城市行政辖区内8个常规气象站2000—2014年15年来逐日平均气温、最高气温、最低气温、平均风速、平均相对湿度及日照时数等资料。所用数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。

1.2 研究方法

1.2.1 TVDI模型 本研究采用的是Sandholt等提出的温度植被干旱指数方法^[7],即三角法反演地表干湿情况。Price等人在分析研究遥感数据中的归一化植被指数和地表温度二者的关系时发现,当研究区域内的植被覆盖度和表层土壤水分含量要素分布比较全面时,NDVI-LST散点图呈三角形^[8-9]。而Moran等发现,NDVI-LST散点图呈梯形,且在其他条件基本相同的情况下,地表类型不同会引起斜率和截距改变^[10],即所谓的“干边”“湿边”,这些散点的分布就是NDVI-LST特征空间^[11]。

从图2可以看出,其中横坐标为归一化差分植被指数,纵坐标为地表温度,A点是无植被覆盖的裸土,植被覆盖度低,地表水容易流失、下渗或者蒸发,地表温度较高;B点是低植被覆盖,但土壤肥沃,蓄水能力强,土壤水分蒸发正常进行,地表温度较低;C点是高植被覆盖且土壤水分充足,冠层温度由于植物表面的蒸腾作用而降低。三角区间的3个角代表3种极端情况,AB边是表征不同土壤含水量及表层蒸发的不同,引起地表温度的不同,BC边温度较低,水分充足,受植被覆盖影响小,地表蒸散等于潜在蒸散,称为“湿边”,AC边说明土

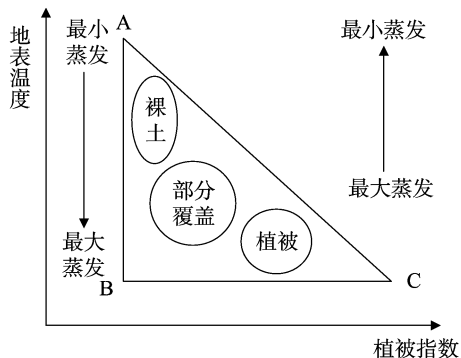


图2 地表温度和植被指数构成的三角空间

壤水分的有效性很低,地表蒸散小,即“干边”。对TVDI以及干湿边方程的表达式表述为

$$TVDI = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}}; \quad (1)$$

$$LST_{\max} = a + b \times NDVI; \quad (2)$$

$$LST_{\min} = c + d \times NDVI. \quad (3)$$

式中: a 、 b 、 c 、 d 为通过线性拟合得到的系数, 根据像元点在 $LST-NDVI$ 特征空间中的位置来计算 $TVDI$ 。利用其属性信息及时空分布规律进行干旱监测研究。由于研究区的相似性, 本研究选择王华等对 $TVDI$ 干湿等级划分的方法, 即非常湿润 < 0.2 ; 湿润, $0.2 \leq TVDI \leq 0.4$; 正常, $0.4 < TVDI \leq 0.6$; 轻旱, $0.6 < TVDI \leq 0.8$; 干旱, $TVDI > 0.8$ [12]。

1.2.2 气象干湿指标 干燥度指数是潜在蒸散发和降水量的比值 [13-14], 计算公式如下:

$$AI = \frac{ET}{P}. \quad (4)$$

式中: ET 为年潜在蒸散发量, mm; P 为年降水量, mm。

目前, 潜在蒸散发的算法种类多样, 主要有 Hargreaves 和 Saman 法 [15]、Thornthwaite 法 [16]、FAO56 - PM (Penman - Monteith) 法 [15, 17-18]、Mc Cloud 法 [9] 等, 不同的算法在区域的适应性和灵活程度上具有显著差异。其中 FAO56 - PM 公式物理机制完备, 适用性强的潜在蒸散发计算方法, 并在不同的气候条件下得到了验证 [19-22], 且用 FAO56 - PM 公式计算的参照作物需水量与实测需水量非常接近 [16]。本研究采用 FAO56 - PM 公式进行日潜在蒸散发量的估算, 然后累积到季和年潜在蒸散发量。潜在蒸散发代表着特定的下垫面状况下的蒸散发能力, 潜在蒸散发具体计算公式如下:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}. \quad (5)$$

式中: ET_0 为日潜在蒸散发量, mm/d; R_n 为参考作物表面净辐射, MJ/(m² · d); G 是土壤热通量密度, MJ/(m² · d), 在日潜在蒸散发计算中通常为 0; T 是日平均气温, °C; U_2 为 2 m 高处风速, m/s; e_s 为饱和水汽压, kPa; e_a 为实际水汽, kPa; Δ 表示饱和水汽压 - 温度曲线的斜率, kPa/°C; γ 为干湿表常数, kPa/°C。

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}; \quad (6)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s; \quad (7)$$

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a; \quad (8)$$

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right) (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_{so}}{R_{so}} - 0.35 \right). \quad (9)$$

式中: R_{ns} 为净短波辐射, MJ/(m² · d); R_{nl} 为净长波辐射, MJ/(m² · d); α 为反照率; R_s 为太阳辐射, MJ/(m² · d); n 为日照时数; N 为最大日照时数; R_a 为地外辐射, MJ/(m² · d); R_{so} 为碧空净太阳辐射, MJ/(m² · d); T_{\max} 为日最高绝对温度, K; T_{\min} 为日最低绝对温度, K; $a_s = 0.25$; $b_s = 0.5$ 。本研究使用孟猛等研究干燥度并利用该指数划分研究区干湿程度的指标, 即湿, 干燥度 < 1.0 ; 半湿润, $1.0 \leq$ 干燥度 < 1.7 ; 半干旱, $1.7 \leq$ 干燥度 < 3.0 ; 干旱, $3.0 \leq$ 干燥度 < 8.0 ; 极干旱, 干燥度 > 8.0 [1]。

1.2.3 河流提取 水可以吸收也可以散射通过水汽界面的波谱辐射能量, 但水的散射会增加天空辐射能量, 而水则会同时吸收二者。遥感图像可以记录收集各种地物向外发出的辐

射信息, 相对于陆地上各种地物, 水体在近红外、中红外和短波红外这几个波段的反射率相对较低, 可以明显区分, 水体的低反射率有助于通过遥感数据提取水体信息。

提取水体信息的方法主要有 2 种: (1) 通过目视判读的方法判断水体分布, 利用地理信息软件如 Arcgis 等直接在遥感图像的地图上重新数字化; (2) 通过已经写好的算法模式对遥感影像信息的自动提取。如通过各种波段反演的水体指数、事先指定水体像元类型或者其反射率表现的阈值区间, 进行监督分类; 或是不指定类型, 直接通过计算机把图像上的各种相似类型的像元进行统计的非监督分类; 还有运用概率与图论中的树对决策中的不同方案进行比较分析, 判断出最优方案的决策树分类方法等。

通过遥感影像提取河流信息的方法已经得到了广泛应用, 徐灵等利用监督分类方法, 首先确定一定的阈值范围, 得到水体分布 [23]。付晓等则是将监督分类和非监督分类方法结合起来, 既发挥了人的主观能动性, 又吸取了计算机算法的优点, 分类效果很好 [24]。本研究采取付晓等的分类方法 [24], 利用监督分类方法提取出水体大致轮廓, 然后考虑各种不同类型水体、不同大小水体、水体中心与边缘等因素的差异, 对监督分类的结果进行补充, 得到最终的水体结果。

2 结果与分析

2.1 TVDI 和 AI 的空间尺度干湿特征

气象站数据为点数据, 因此通过其计算获得的干燥指数需通过空间插值获得其空间分布。利用 ArcGIS 对气象站点计算获得的干燥度指数进行空间插值, 使用反距离权重插值方法获得山东省聊城市干湿空间分布。2000—2014 年聊城市多年平均 $TVDI$ 空间分布见图 3, 2000—2014 年聊城市多年平均 AI 空间分布见图 4。研究区温度植被干旱指数为 0.187~0.672, 均值为 0.49, AI 值变化区间为 1.668~2.024, 均值为 1.82, 二者干旱定义标准不同, 数值没有很大直接对照参考价值。但无论是 AI 还是 $TVDI$, 干湿情况的分布规律较为相似, 聊城市西部地区相对较为干燥。由于 AI 的计算是基于站点信息插值计算, 区域性更为明显, 因此对图 3、图 4 中聊城市 8 个区域进行分区统计, 见图 5、图 6。从图中可以看出, 聊城市西部的莘县、冠县区域在 2 个干旱指数的分布图中均属于较为干燥的地区, 而东部的茌平县, 聊城市区和东阿县均属于较湿润地区, 除了阳谷地区有差异外, 其他地区的干湿润情况都基本吻合。将 8 个地区的干湿状况量化, 其折线走势见图 7, 可以更为直观的看到, 2 种指数显示的干湿状况在各个地区间的相互关系都是基本相似的。从干湿指数的数值大小关系上来看, $TVDI > 0.5$ 的地区为西部临清市、冠县、莘县 3 个地区, 三者的均值为 0.53, 而东部另外 5 个地区的均值为 0.42; $AI > 1.8$ 的地区为临清市、冠县、莘县、阳谷县, 西部 3 个地区临清市、冠县、莘县均值为 1.86, 东部 5 个地区的均值为 1.79, 基本干湿规律是吻合的。

2.2 TVDI 和 AI 时间尺度干湿特征

本研究使用的是月尺度的数据, 将时间尺度缩小到季节上, 且不同季节干湿情况差别较大, 异常值影响会略有明显。2000—2014 年这 15 年来 $TVDI$ 均值的四季分布情况见图 8-a, 干湿情况在春、秋、冬 3 季地区性分布较为明显, 春季干燥

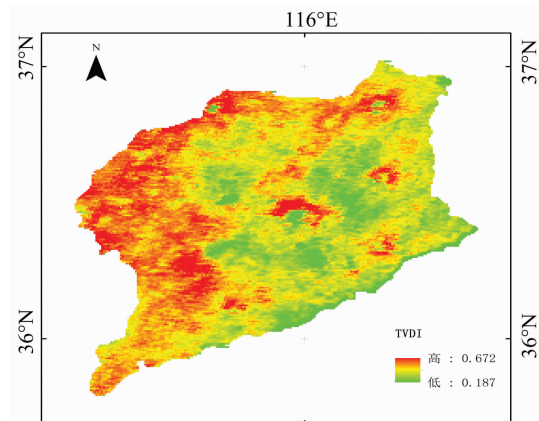


图3 2000—2014 年聊城市 TVDI 年均值

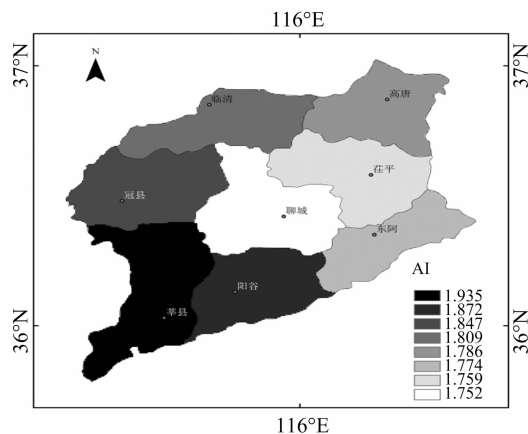


图6 2000—2014 年聊城市 AI 分区年均值

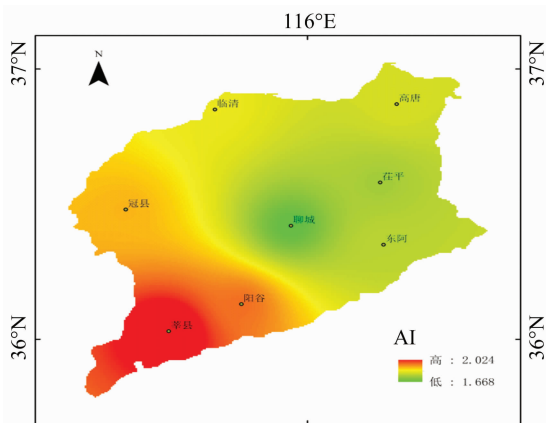


图4 2000—2014 年聊城市 AI 年均值

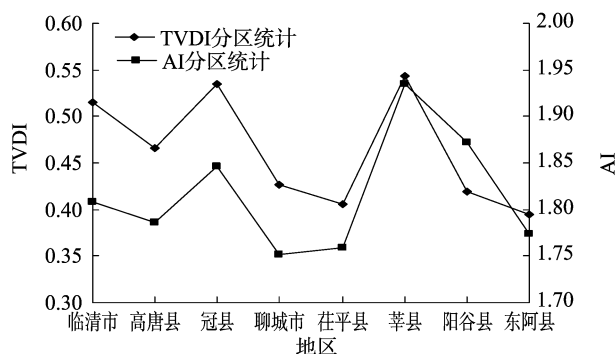


图7 2000—2014年聊城市不同地区 TVDI 与 AI 区域值

征见图 9 - b,且季节性区别较为明显,干燥情况呈现出冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季的特征,表明研究区春、冬 2 季较为干燥。由于春季为作物出苗和生长的关键季节,且该地区多为冬小麦,因此加强冬旱春旱防御工作对农作物至关重要。

TVDI 和 AI 2 种干旱指数 15 年来变化趋势的对比见图 10,2 种干旱指数相邻年份的升降趋势除了 2000—2001 年间和 2013—2014 年间存在差异,其他相邻年份之间都相同,区别在于干旱指数变化的大小。如 2000—2003 年间 AI 的下降趋势远大于 TVDI,2004—2005 年间 TVDI 的下降趋势又明显大于 AI。但是如果从干湿等级定义的角度去看,二者几乎都没有发生什么变化,结合趋势线的走向可以看出,AI 是从半干旱半湿润(1.0 ~ 3.0)逐渐转变为半湿润(1.0 ~ 1.7),而 TVDI 由于受植被覆盖影响较明显,受天气状况影响较小,所以更加稳定,15 年来一直保持正常水平,在 0.4 ~ 0.6 之间。

2.3 TVDI 和 AI 干湿特征与河流分布密度的相关性分析

聊城市地处运河和黄河交界处,水系相对于其他内陆地区较发达,因此灌溉是聊城市农业、林业的重要补给方式,聊城地区水系的分布及 4 000 m 缓冲区见图 11,水系分布在中部和东部比较密集,西部则比较稀疏。结合图 3、图 4 可以发现,水系分布情况与 TVDI 和 AI 这 2 种指数的干湿表征情况相一致,表明在聊城地区,干湿区分布与河流分布有着密不可分的联系。

如果将河流缓冲区的分布进行区域化的统计,从表 1 可以看出,聊城地区西部冠县、临清市、莘县等 3 个地区的湿润区占比均值仅有 60% 左右,而中部及东部地区湿润区占比均值达 87% 左右,相差接近 30%。

主要分布在西北区域,秋季冬季主要分布在西南区域,夏季分布较为均匀,地区性分布不明显。结合四季干燥情况的数值统计(图 8 - b)可以看出,TVDI 不能明显看出季节性明显差异,但是冠县、临清市、莘县等 3 个西部地区的四季 TVDI 均值都大于 0.6,这也是聊城地区西部地区较为干燥的重要原因之一。

15 年来 AI 平均值的四季分布情况见图 9 - a,可以看出春、夏、秋 3 季干燥地区多分布在聊城西部,冬季干燥地区为西南和东北地区,反映不同地区内季节干燥度指数的大小特

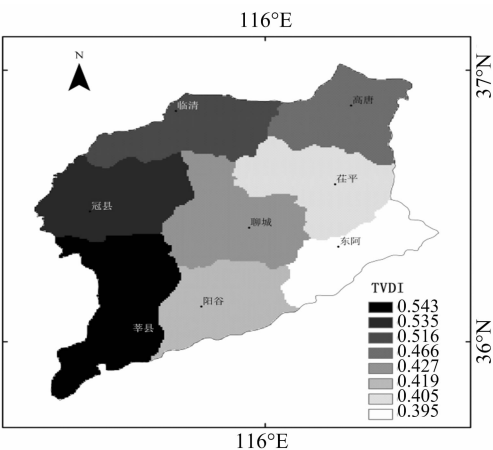


图5 2000—2014 年聊城市 TVDI 分区年均值

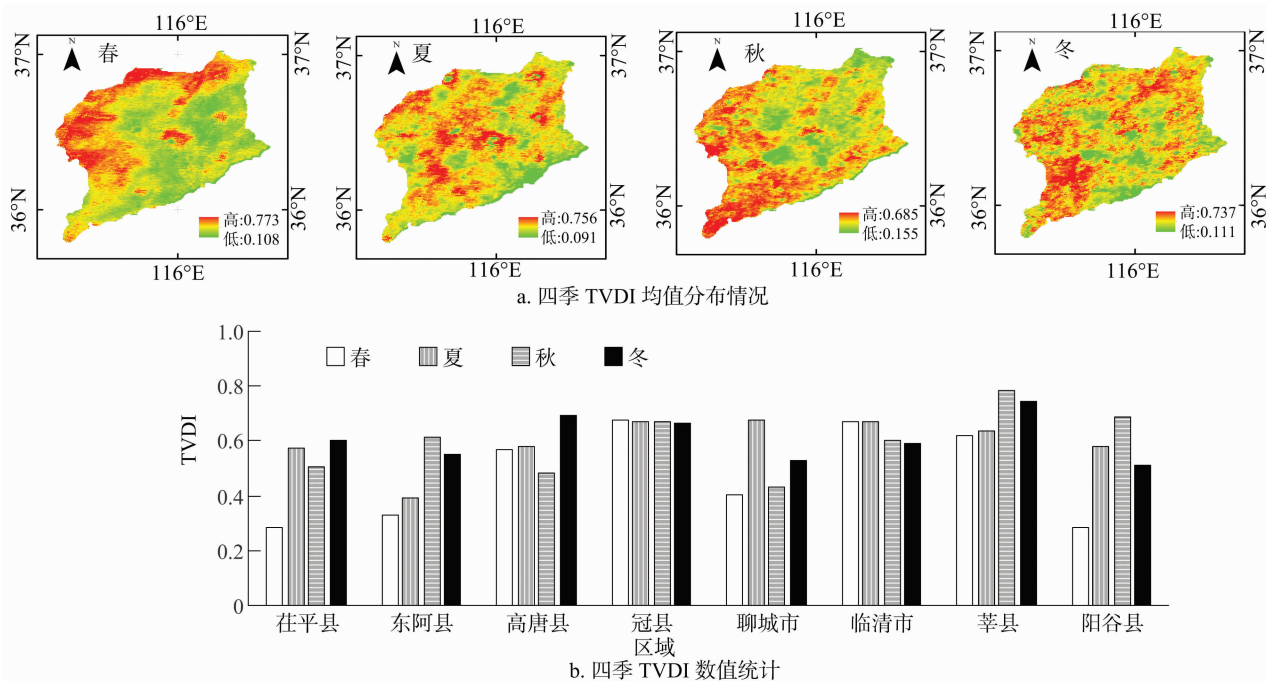


图8 2000—2014 年聊城市四季 TVDI 均值分布

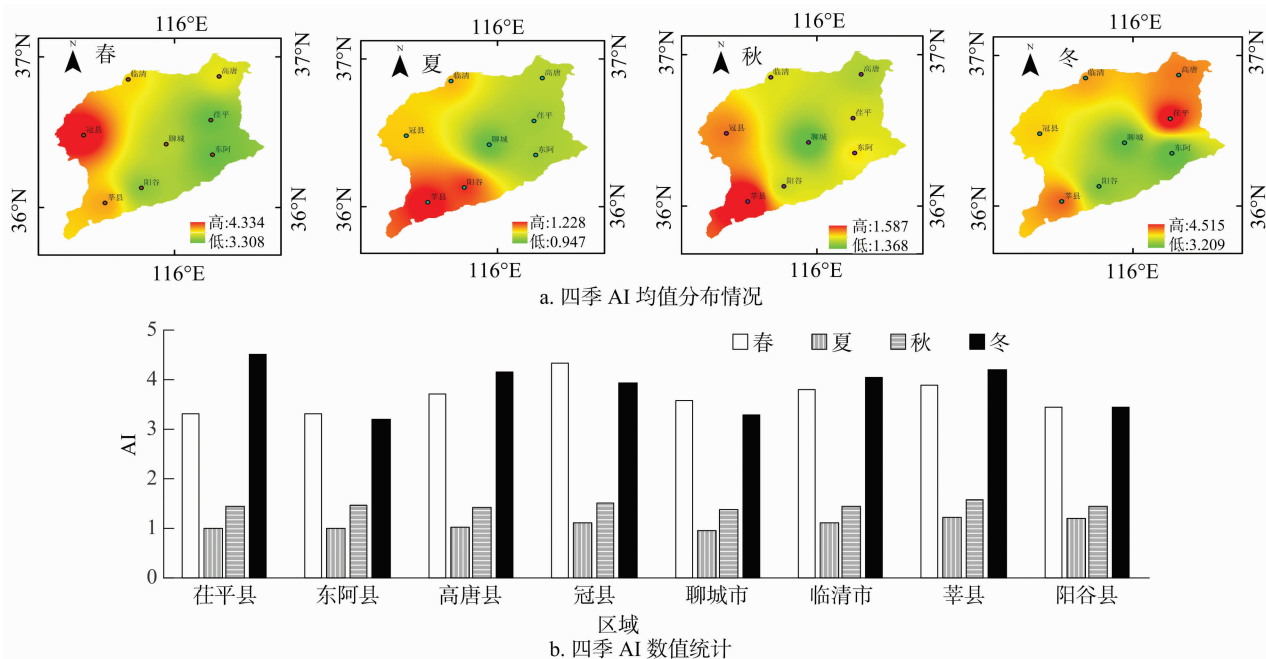


图9 2000—2014 年聊城市四季 AI 均值分布

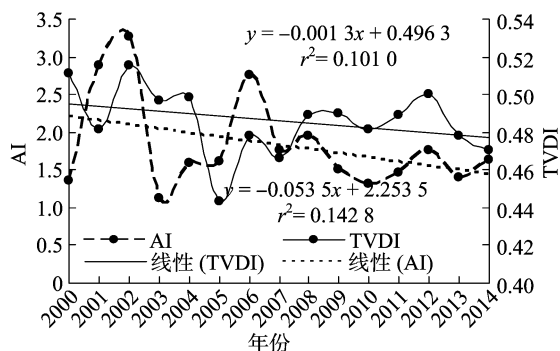


图10 2000—2014 年聊城市 TVDI 与 AI 年变化趋势对比

将表 1 中的非水体缓冲区占地比数据与图 7 结果进行叠加比较(图 12、图 13)可知,聊城市 8 个区域的 TVDI、AI、非水体缓冲区占地比例的折线趋势几乎一致。

3 结论与展望

通过遥感数据和气象站点数据计算得到 2000—2014 年 15 年间聊城地区的 2 种干湿指数 (TVDI、AI) 的时空分布情况和变化规律,发现 2 种指数的相关性很高;进而将这种相似的干湿分布规律与聊城地区的实际水体及缓冲区的分布进行对比分析发现,2 种指数反映的干湿情况与河流分布也存在很大的相关性:(1)聊城市 15 年来的 AI、TVDI 二者之间存在

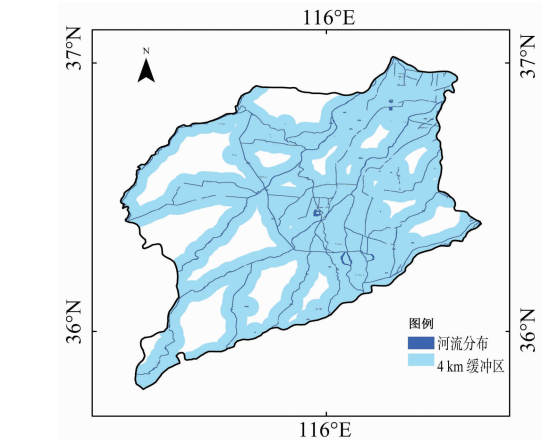


图11 聊城市水体及其缓冲区分布

表 1 聊城市水体及缓冲区占区域面积比例

区域	水体缓冲区面积 (km ²)	区域面积 (km ²)	缓冲区占比 (%)	非缓冲区占比 (%)
茌平县	0.102	0.113	89.797	10.202
东阿县	0.070	0.081	86.911	13.089
高唐县	0.093	0.096	97.414	2.586
冠县	0.076	0.116	65.291	34.709
聊城市	0.109	0.126	86.464	13.536
临清市	0.061	0.098	62.626	37.374
莘县	0.081	0.137	58.940	41.059
阳谷市	0.076	0.100	75.558	24.442

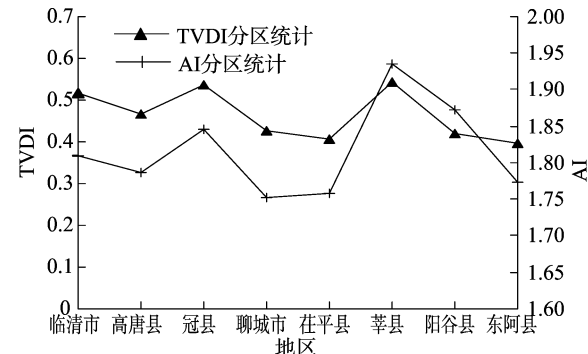


图12 聊城市 TVDI、AI、非水体缓冲区占地比例变化趋势

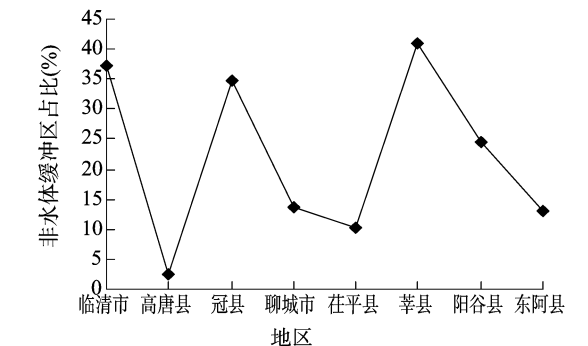


图13 聊城市非水体缓冲区占比的变化趋势

着很大的相关性,均呈现西部干燥、东部湿润的空间分布特征,其中东西部 TVDI 均值分别为 0.422 51、0.531 35,东西部 AI 均值分别为 1.788 49、1.863 21;(2)2 种指数表现的干湿特征在时间尺度上规律也很明显,2000—2014 年这 15 年的年尺度湿润变化规律的升降趋势基本吻合,季节间特征表现

形式不同,但都可以反映相同的干湿状况,即春季、冬季干燥发生较为严重;(3)东西部河流及缓冲地带不覆盖区占东部、西部地区面积的比例分别为 17.367%、37.714%,也呈现出西干东湿的特征,且与 2 种指数的干湿分布规律吻合。

由于研究区面积原因,干湿情况没有很大的跨度,但是小区域内的干湿状况在现如今精细化农业的大背景下也会有很重要的研究意义。由于聊城地区地处华北平原中南部,温带季风性气候区的中南部,且位于大运河和黄河的交汇处,这对华北平原地区的农业种植分布规划、天气与水系二者对农业的影响研究、遥感干旱与气象干旱对比研究等都有很大的参考意义。

参考文献:

[1]孟 猛,倪 健,张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J]. 植物生态学报,2004,28(6):853-861.

[2]齐述华,王长耀,牛 铮. 利用温度植被旱情指数(TVDI)进行全国旱情监测研究[J]. 遥感学报,2003,7(5):420-427.

[3]范辽生,姜纪红,盛 晖,等. 利用温度植被干旱指数(TVDI)方法反演杭州伏旱期土壤水分[J]. 中国农业气象,2009,30(2):230-234.

[4]王 海,杨祖祥,王 麟,等. TVDI 在云南 2009/2010 年干旱监测中的应用[J]. 云南大学学报(自然科学版),2014,36(1):59-65.

[5]杨 曦,武建军,闫 峰,等. 基于地表温度—植被指数特征空间的区域土壤干湿状况[J]. 生态学报,2009,29(3):1205-1216.

[6]李 楠. 聊城地区冬小麦干旱灾害评估[D]. 南京:南京信息工程大学,2015.

[7]Sandholt I,Rasmussen K,Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. Remote Sensing of Environment,2002,79(2/3):213-224.

[8]Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration[J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on,1990,28(5):940-948.

[9]Carlson T N,Gillies R R,Eileen M P. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover[J]. Remote Sensing Reviews,1994,9(1):161-173.

[10]Moran M S,Clarke T R,Inoue Y,et al. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index[J]. Remote Sensing of Environment,1994,49(3):246-263.

[11]宋小宁,赵英时. 应用 MODIS 卫星数据提取植被-温度-水分综合指数的研究[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(2):13-17.

[12]王 华,邵 瀚. 基于 TVDI 的江苏省淮北地区干旱监测技术研究[J]. 地理空间信息,2016,14(2):53-55,65,8.

[13]王利平,文 明,宋进喜,等. 1961—2014 年中国干燥度指数的时空变化研究[J]. 自然资源学报,2016,31(9):1488-1498.

[14]Allen R G,Pereira L S,Raes D,et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements[R]. FAO Irrigation & Drainage Paper,1998:56.

[15]Dehghanisanij H,Yamamoto T,Rasiah V. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments[J]. Agricultural Water Management,2004,64(2):91-106.

祁迎春,王 建,黄 瑶,等. 延安市蔬菜大棚土壤重金属污染评价及影响因素[J]. 江苏农业科学,2019,47(6):249-253.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.053

延安市蔬菜大棚土壤重金属污染评价及影响因素

祁迎春,王 建,黄 瑶,陈 珂,张 旺,卢超超

(延安大学石油工程与环境工程学院,陕西延安 716000)

摘要:通过对陕西省延安市蔬菜基地大棚土壤中铬(Cr)、镉(Cd)、铅(Pb)、锰(Mn)、镍(Ni)5种重金属含量和土壤基本理化性质的测定,分析土壤重金属污染特征及影响因素,并采用单项污染指数法、内梅罗综合污染指数法、潜在生态危害指数法对土壤重金属污染进行评价。结果表明,土壤重金属 Cr、Pb、Ni 的含量均小于《土壤环境质量标准》的二级限值,单项污染指数均小 1,属于清洁水平;Cd 含量在 0.11~1.08 mg/kg 之间,超标样品比率达 60%,单项污染指数为 1.03,达到轻度污染水平;重金属内梅罗综合污染指数平均值为 0.83,属于警戒线水平;5 种重金属综合潜在生态风险指数均值为 214.05,处于中等潜在生态风险等级,Cd 对潜在生态风险的贡献率为 92.6%,是最主要的生态风险因子;相关性分析表明,土壤重金属污染与肥料的施用有关,Cd 含量与有机质含量、速效磷含量、全氮含量间呈极显著或显著正相关关系。

关键词:蔬菜大棚;土壤重金属;污染特征;影响因素

中图分类号: S155.4⁺1;X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0249-05

土壤作为农业生产的重要基础,其质量的优劣直接影响着农作物安全和土壤环境的可持续发展^[1]。随着我国农业结构的优化与调整,设施农业得到迅速发展。设施农业土壤常年处于高温、高湿的环境,加之化肥农药的大量使用及土地超强度的利用致使土壤理化性质发生改变,继而出现土壤酸化板结、盐渍化、养分失调、重金属累积、微生物区系改变等一系列问题,尤其是重金属污染问题日益突出。贺小琴等调查结果表明,丽水市水阁工业园区石牛大桥附近蔬菜基地铅(Pb)、镉(Cd)超标 10 倍^[2];楚纯洁等对河南省叶县等地的露天和设施蔬菜地土壤重金属分析得出,菜地土壤已受到不同程度的重金属污染^[3]。李瞳等研究发现,不同棚龄土壤铬

(Cr)、Pb、砷(As)、汞(Hg)含量均随着种植年限的增加而提高,种植蔬菜 1~5 年,土壤 Cd、As、Hg 含量分别提高 143.5%、51.1%、60.2%^[4]。可见,菜地土壤重金属超标问题已成为威胁人类食品安全的突出环境问题。不同区域、不同种植模式下土壤重金属污染特征、污染评价及影响因素和生态修复等成为学者们研究的热点^[5-10]。目前,陕北地区土壤重金属污染方面的研究主要集中在矿区和农田,而对蔬菜大棚土壤重金属污染方面的研究很少。因此,为了解当地土地利用方式和管理模式下蔬菜大棚土壤重金属的污染特征,以陕西省延安市近郊典型的蔬菜生产基地为研究对象,分别测定土壤中 Cr、Cd、Pb、锰(Mn)、镍(Ni)5 种重金属的含量,采用污染指数法对土壤重金属污染进行评价,并运用统计分析方法研究重金属污染的影响因素,揭示土壤重金属污染特征和土壤环境质量状况,为大棚蔬菜的安全生产和重金属污染修复提供必要的基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品的采集与处理

以陕西省延安市典型的 4 个蔬菜生产基地蔬菜大棚为采样地点,每个蔬菜基地分别选取具有代表性的大棚 5 个,每个

收稿日期:2018-06-11

基金项目:国家级大学生创新训练项目(编号:201710719015);陕西省延安市科技计划项目(编号:2018KN-06)。

作者简介:祁迎春(1983—),女,青海海东人,硕士,高级实验师,主要从事土壤污染与治理方面的研究。E-mail:qiyingchun@nwsuaf.edu.cn。

通信作者:王 建,博士,副教授,主要从事环境监测方面的研究。E-mail:wangjian595573@sohu.com。

[16] 张晓琳,熊立华,林 琳,等. 五种潜在蒸散发公式在汉江流域的应用[J]. 干旱区地理,2012,35(2):229-237.

[17] Lecina S, Martinez - Cob A, Perez P J, et al. Fixed versus variable bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman - Monteith equation under semiarid conditions [J]. Agricultural Water Management, 2003, 60(3):181-198.

[18] Irmak S, Allen R G, Whitty E B. Daily grass and alfalfa - reference evapotranspiration estimates and alfalfa - to - grass evapotranspiration ratios in Florida [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2003, 129(5):360-370.

[19] 刘晓英,林而达. 气候变化对华北地区主要作物需水量的影响

[J]. 水利学报,2004(2):77-82,87.

[20] 高 歌,陈德亮,任国玉,等. 1956—2000 年中国潜在蒸散量变化趋势[J]. 地理研究,2006,25(3):378-387.

[21] 霍再林,史海滨,陈亚新,等. 参考作物潜在蒸散量的人工神经网络模型研究[J]. 农业工程学报,2004,20(1):40-43.

[22] 尹鹤,吴绍洪,戴尔阜. 1971—2008 年我国潜在蒸散时空演变的归因[J]. 科学通报,2010,55(22):2226-2234.

[23] 徐 灵,侯小凤. 基于区域生长的遥感影像河流提取[J]. 测绘与空间地理信息,2015,38(3):198-200.

[24] 付 晓,严 华,贺 新. 基于遥感图像的河流提取方法及应用研究[J]. 人民黄河,2014,36(3):10-12.