

重庆市都市区 NDMI 时空分异特征研究

陈 丹, 王福海

(重庆工商大学融智学院, 重庆 400033)

摘 要:NDMI 是研究城市化进程中城市生态环境的一个重要指标和过程参数,研究 NDMI 时空分异特征重在把握人为干扰环境的力度。利用重庆市都市区 TM 遥感数据,综合运用地形位指数、分布指数、平面重心模型以及重心迁移速率等方法,研究分析 NDMI 时空数量结构分布特征。研究结果表明:随着建设用地面积扩展和城市发展,地表水汽含量总体减少;各等级 NDMI 之间以相邻转换最为突出;低水汽指数区域集中分布在 300~500 m 的平地 and 100~400 m 的低缓坡区域,高水汽指数在 1,2 级地形位的分布指数最优。研究旨在为重庆市都市区维持区域生态系统的稳定性和改善人居环境质量提供参考和依据。

关键词:“3S”技术; NDMI; 时空分异特征; 重庆市都市区

中图分类号:X22; X16

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0234-06

Research on the Spatiotemporal Differentiation Characteristics of NDMI in Chongqing Metropolitan Area

CHEN Dan, WANG Fuhai

(Rongzhi College of Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400033, China)

Abstract: Normalized Difference Moisture Index (NDMI) is one of the important indexes and process parameters as used to examine urban ecological environment in urbanization process. The key to study the spatiotemporal differentiation characteristics of NDMI is to determine the interference from human. We took the TM data of Chongqing metropolitan area as the remote sensing data source. These methods including terrain niche index, distribution index, plane center model and the center migration rate were used to analyze the spatiotemporal distribution characteristics of NDMI. The results showed that with the extension of construction land and the development of city, land surface moisture content generally reduced; the transfer characteristics between each grade NDMI mainly demonstrated the features with adjacent conversion; low moisture index mainly distributed in the flat with altitudes ranging from 300 m to 500 m and the gentle slope with the altitudes varying from 100 m to 400 m; the highest moisture index mainly distributed in the first and the second terrain niche. These results can provide reference and basis for maintaining ecosystem stability and improving the quality of inhabited environment in Chongqing metropolitan area.

Keywords: 3S technology; NDMI; spatiotemporal differentiation characteristics; Chongqing metropolitan area

随着城市化进程的高速发展,城市用地面积扩张,城市生态安全将受到不同程度威胁。城市地表参量是城市生态系统量化指标要素,能有效地揭示城市环境的变化。归一化水汽指数(NDMI)是研究城市化进程中城市生态环境的一个重要指标和过程参数,它表征了土壤或植被等水汽含量的多少^[1]。研究地表水汽含量,能揭示地表水汽空间变化规律,分析研究区生态环境,对维持区域生态系统的稳定性,改善人居环境以及

城市化进程可持续发展有一定的指导意义。

学者们利用 NDMI 主要研究水汽指数与土壤湿度的关系^[2-3]、归一化湿度指数对热力景观格局的影响^[4]、温湿指数对不透水表面的响应^[5]等方面,缺乏对地表水汽含量水平和垂直方向上时空分布特征以及与城市生态环境结合的研究。地表水汽含量的遥感测定对农、林业和水文研究具有重要的意义,在物质、能量的交换中起着重要作用,是城市热岛效应、土壤湿度和

地表温湿度等研究领域的重要环境因子和过程参数^[1,5-6];重庆市都市区作为城市发展的典型代表区域,其区域内 NDMI 的空间分布特征更具有研究价值。

1 研究区概况

重庆市位于中国内陆西南部、长江上游地区,年平均降水量较丰富,以丘陵、山地地形为主,坡地面积较大。都市区是重庆市经济最发达、城镇化水平最高、人口最密集的区域,包含渝中区、大渡口区、江北区、南岸区、沙坪坝区、九龙坡区、北碚区、渝北区、巴南区 9 个行政区全部辖区范围,总面积约 5 473 km²。近年来,都市区城市扩展迅速,城市的生态环境和人居环境倍受关注。

2 数据源与数据预处理

2.1 数据源

采用美国陆地卫星 1988 年、2000 年、2002 年、2007 年、2010 年同时节的 TM 遥感数据作为研究都市区水汽指数(NDMI)的影像数据源,空间分辨率为 30 m;同时采用都市区对应年份的土地利用现状解译数据,并收集 1:50 000 DEM 数据、行政区划数据和相关社会经济统计数据。

2.2 数据预处理

2.2.1 影像数据处理 对 Landsat TM 遥感数据进行辐射校正和几何精校正处理,减少遥感数据收集和过程中产生的误差与形变。采用 Albers 投影,105°的中央经线,双标准纬线采用 25°,47°。通过图像增强改善图像视觉效果,更有利于对遥感影像数据的识别。结合 TM 遥感数据各波段的数据信息,根据本次研究目的,分别提取每期遥感影像的 4,5 波段数据,并对遥感数据进行剪切和拼接处理。

2.2.2 DEM 数据处理 首先利用 1:50 000 DEM 数据生成都市区坡度数据。国际地理学联合会地貌调查与地貌制图委员会依据地貌特征将坡度分为 7 个等级^[7]:0°~0.5°为平原,0.5°~2°为微斜坡,2°~5°为缓斜坡,5°~15°为斜坡,15°~35°为陡坡,35°~55°为峭坡,55°~90°为垂直壁;全国第二次土地调查中将耕地坡度分为≤2°,2°~6°,6°~15°,15°~25°,≥25°五个坡度级。结合重庆山地城市的地形地貌特征,将研究区坡度划分为 0°~2°,2°~6°,6°~15°,15°~25°,25°~35°,≥35°六个坡度级。

根据学者们对与都市区具有类似地形区域的研究,都市区以及其周围区县的城区平均海拔高度为 400,300~600 m 海拔范围内的土地利用类型呈现明显的多样性特征,1 200 m 海拔以上的土地利用类型趋于单一^[8]。

依据本次研究收集的 DEM 数据,都市区的高程区间为 100~1 600 m,故将研究区内 100~300 m 高程单独划分为一类,高程为 300~1 200 m 单独划分为一类,大于 1 200 m 的单独划分为一类,对 300~600 m 范围内的高程要进行细分。高程在 300~600 m 范围内,土地利用强度大,随高程变化,土地利用变化明显,为充分研究该范围内高程对土地利用的影响,采用内插法以 100 m 进行细分。因此,结合都市区实际情况将研究区高程划分为 6 级,即 100~300,300~400,400~500,500~600,600~1 200,≥1 200 m。

3 研究方法

3.1 水汽指数及分类

NDMI 由近红外波段和中红外波段的差异获得^[9]。近红外波段 TM4 具有最大的反射率,中红外波段 TM5 反射率减少是因为中红外是水的吸收波段^[6]。因此,利用 TM4, TM5 水汽含量的差异可以求得 NDMI 值,值越高表明地表含水量越大。NDMI 计算公式为^[10]:

$$NDMI = (\text{band}4 - \text{band}5) / (\text{band}4 + \text{band}5) \quad (1)$$

式中:band4, band5——TM 图像的第 4 波段、第 5 波段。

由于获取的各年份的水汽指数为一个瞬时值,要将各时段的瞬时值进行比较,首先对各时段的水汽指数进行归一化处理,归一化计算方法如下:将其归一化到 0~1,再利用自然断点结合土地利用现状数据的方法,分别对各时段水汽指数进行分级,将研究区 NDMI 等级划分为低水汽指数区域、较低水汽指数区域、中度水汽指数区域、较高水汽指数区域、高水汽指数区域 5 个级别。

$$NDMI_{\text{NEW}} = (NDMI - NDMI_{\text{MIN}}) / (NDMI_{\text{MAX}} - NDMI_{\text{MIN}}) \quad (2)$$

式中:NDMI_{NEW}——归一化之后水汽指数值;NDMI_{MAX}——原始水汽指数中最大值;NDMI_{MIN}——原始水汽指数中最小值;NDMI——原始水汽指数值。

3.2 分布指数

为了消除不同地形区段的面积差异和不同景观组分的面积比重差异的影响,本文引入分布指数来描述各等级 NDMI 在地形梯度上的分布情况,其计算公式如下^[11-12]:

$$P = \frac{S_{ie}}{S_i} / \frac{S_e}{S} \quad (3)$$

式中:P——分布指数;*e*——地形因子;*S_e*——*e*地形因子某等级下第 *i* 级 NDMI 指数的占地面积;*S_i*——研究区内第 *i* 级 NDMI 的占地总面积;*S_e*——整个研究区内 *e* 地形因子某等级的总面积;*S*——整个研究区的面积。

3.3 地形位指数及分级

本文借用地形位指数来度量地形梯度^[12],定量

分析 NDMI 与地形梯度之间的相互关系,进而更深入地分析土地利用类型与 NDMI 之间的相互关系。地形位指数计算公式如下^[13]:

$$T=\ln[(\frac{E}{\bar{E}})+1]\times[(\frac{S}{\bar{S}})+1]$$
 (4)

式中: T ——地形指数; E ——空间任一坐标点的高程值; \bar{E} ——所在区域的平均高程值; S ——空间任一点坡度值; \bar{S} ——所在区域平均坡度值。

根据高程分级间隔点和坡度分级间隔点,同时结合地形位指数计算方法,依次推算出相应地形位指数的分级间隔点,将地形位指数划分为 6 个级别: 0~0.699, 0.699~1.054, 1.054~1.541, 1.541~1.942, 1.942~2.642, >2.642。

3.4 平面重心模型

平面重心模型可计算 NDMI 在平面坐标下重心的位置,从而分析在地理二维空间各时期重心位移,揭示 NDMI 在水平空间的变化过程。平面重心模型计算公式如下^[14-15]:

$$X_k=\frac{\sum_{i=1}^n(A_{ki}X_{ki})}{A_k}, \quad Y_k=\frac{\sum_{i=1}^n(A_{ki}Y_{ki})}{A_k}$$
 (5)

式中: X_k —— k 级 NDMI 重心 X 坐标值; A_{ki} —— k 级 NDMI 中图斑 i 的面积; X_{ki} —— k 级 NDMI 中图斑 i 对应范围内 X 坐标的平均值; A_k —— k 级 NDMI 总面积; Y_k —— k 级 NDMI 重心 Y 坐标值; Y_{ki} —— k 级 NDMI 中图斑 i 对应范围内 Y 坐标的平均值。

3.5 重心迁移速率

重心迁移速率能更直接揭示各 NDMI 等级空间

变化速度,其计算公式如下^[14-15]:

$$V_{k(t_2-t_1)}=\frac{B_{k(t_2)}-B_{k(t_1)}}{t_2-t_1}$$
 (6)

$$P_{k(t_2-t_1)}=\frac{\sqrt{[x_{k(t_2)}-x_{k(t_1)}]^2+[y_{k(t_2)}-y_{k(t_1)}]^2}}{t_2-t_1}$$
 (7)

式中: V_k —— k 等级 NDMI 垂直重心或坡度重心迁移速率; $B_{k(t_2)}, B_{k(t_1)}$ —— k 等级 NDMI 在 t_2, t_1 两个时间段的垂直重心或坡度重心值; t_2, t_1 ——截至时间和起始时间; P_k —— k 等级 NDMI 平面重心迁移速率; x_k, y_k —— t 时间 k 等级 NDMI 重心 x, y 坐标值。

4 结果与分析

4.1 归一化水汽指数数量结构分布特征

从表 1、图 1 可以看出,中度水汽指数区域在空间上的分布面积皆为最大,所占区域面积接近 50%,其次是较高水汽指数,高水汽指数区域空间分布面积最小。1988—2000 年,1,2,3 等级水汽指数的区域面积减少,4,5 级水汽指数的区域面积增加,在此阶段都市区地表水汽指数整体呈现上升趋势;到 2002 年,3 级水汽指数区域的面积与 4,5 级水汽指数区域的面积一并呈现增加趋势,中高级水汽指数区域面积逐渐上升;到 2007 年,都市区区域水汽指数的分布面积变化趋势与前几年间呈现的变化趋势相反,中低级水汽指数的分布面积增大,高级水汽指数的分布面积减少,水汽指数在区域空间上呈现出下降的趋势;到 2010 年,区域各级水汽指数空间分布面积的变化规律又逐步恢复为中高级水汽指数面积增加的趋势,整个区域的地表水汽逐步增多。

表 1 1988—2010 年各级 NDMI 面积分布

NDMI 等级	1988 年		2000 年		2002 年		2007 年		2010 年	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
1	525.43	0.10	295.99	0.06	343.68	0.06	400.39	0.07	388.27	0.07
2	786.09	0.14	672.18	0.12	363.64	0.07	772.71	0.14	560.90	0.10
3	2524.50	0.46	2422.27	0.44	2761.82	0.50	3170.13	0.58	3337.83	0.61
4	1559.66	0.29	1983.87	0.36	1905.03	0.35	1037.13	0.19	1099.85	0.20
5	75.97	0.01	97.35	0.02	97.49	0.02	91.30	0.02	84.80	0.02

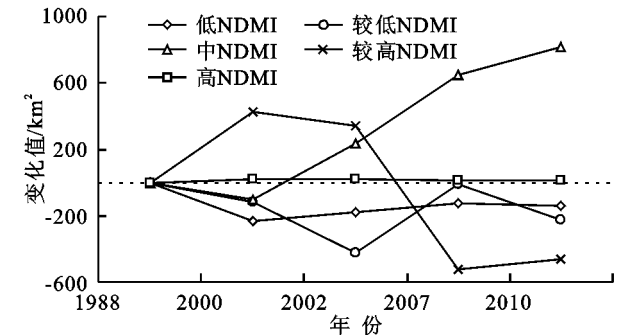


图 1 重庆市都市区各等级 NDMI 变化量

4.2 归一化水汽指数空间地域分布特征

从图 2 可以看出,1988—2010 年,建成区中以渝中区为中心的低、较低水汽指数区域面积持续扩大,西北方区域环境通过治理得到了一定恢复;都市区东南方区域 2002—2007 年 NDMI 指数下降,近年东南方区域 NDMI 指数基本呈上升趋势。

1988—2010 年渝中区和 大渡口区中低水汽指数面积占其总面积最大;巴南区水汽含量较高,第 4 级、第 5 级 NDMI 指数分布面积最多;江北区在 1988—

2002 年中高水汽指数所占面积较大,2002—2010 年中高水汽指数面积大幅度减少,中低水汽指数面积增加;九龙坡区、南岸区、沙坪坝区在 1988—2002 年高水汽指数所占面积略大于中低水汽指数的面积,2002—2010 年中低水汽指数面积增加,2007—2010 年中低

水汽指数面积超过了中高水汽指数所占的面积。渝北区 1988—2007 年第 4 级、第 5 级 NDMI 面积一直呈下降趋势,2007—2010 年有所回升,中低水汽指数在 1988—2010 年面积基本呈现下降趋势,2002—2007 年面积略微上升。

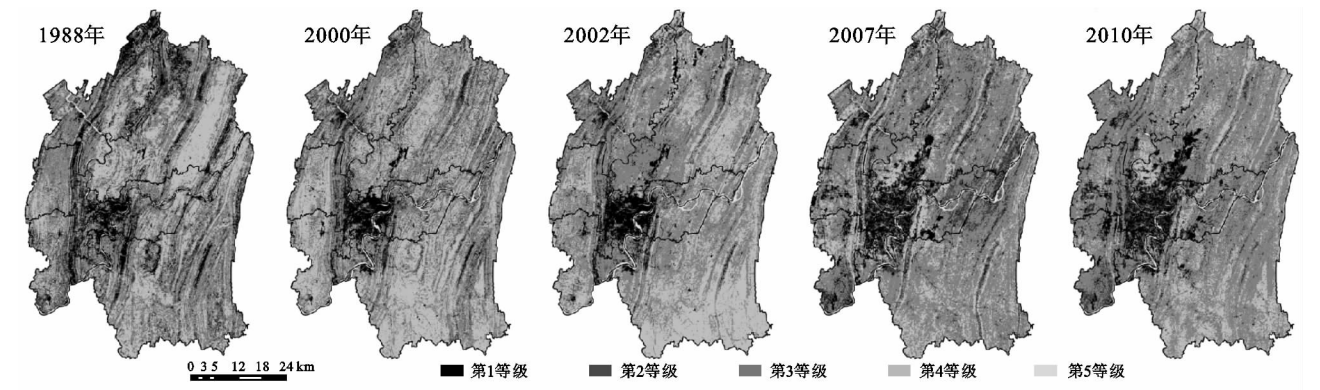


图 2 不同年份 NDMI 分布

4.3 归一化水汽指数各等级转移变化特征

由表 2 可以看出,1988—2002 年各个等级的 NDMI 转出量大小排序:中 NDMI>较高 NDMI>较低 NDMI>低 NDMI>高 NDMI,各个等级的 NDMI 转入量大小排序同样为:中 NDMI>较高 NDMI>较低 NDMI>低 NDMI>高 NDMI,该顺序与各等级区域面

积的大小具有一致性。中度 NDMI、较高 NDMI 面积增加,且转换量最大,变化活跃度最高;低 NDMI、较低 NDMI 面积减少;高 NDMI 不论是转入或转出的量都相对较少,通过与土地利用现状对比可知高 NDMI 区域基本属于水域,变换量较少;NDMI 各等级之间的转换主要集中在相邻等级之间,符合向临近等级转换的规律。

表 2 1988—2002 年 NDMI 等级面积转移矩阵 km²

NDMI		2002 年					合计
指数		低	较低	中度	较高	高	
1988 年	低	—	98.84	195.79	57.84	17.6	370.07
	较低	60.27	—	453.26	164.15	2.25	679.93
	中度	94.71	131.76	—	904.55	6.26	1137.3
	较高	32.27	26.46	724.11	—	13.39	796.23
	高	1.06	0.42	1.44	15.06	—	17.97
	合计	188.32	257.48	1374.6	1141.6	39.49	—

由表 3 可以看出,2002—2010 年重庆都市区 NDMI 各等级变化与 1988—2002 年有相似规律,即各 NDMI 等级的转移量排序与该等级的原始面积大小顺序一致,其中 NDMI 和较高 NDMI 变化活跃度最高,且各等级转换符合向临近等级转换的规律。2002—2010 年中 NDMI、较低 NDMI 面积增加,较高 NDMI 面积减少较为明显,高 NDMI 和低 NDMI 变化量较少。转换较为活跃的是较低 NDMI、中 NDMI 和较高 NDMI 三个等级,相对转换最少的为高 NDMI。

4.4 归一化水汽指数水平重心分布特征

利用公式(4)、(6)、(7)分别计算,得到图 3、表 4。从 NDMI 平面空间重心分布图中可以看出各个等级

的 NDMI 迁移轨迹没有一个严格的路径,1988—2010 年第 1 等级的平面空间重心变化幅度相对最大,整体情况为向西南方向迁移,只有 2000—2002 年表现为向西北方向转移;第 2 等级 NDMI 在 1988—2000 年重心向东北方移动,2000—2002 年向正西方平移,且具有最大速率 3 624.80 m/a,2002—2007 年向东南方移动,2007—2010 年向西南方移动,整体表现为先向北再向西南方迁移;第 3 等级 NDMI 迁移范围相对较小,最大迁移速率出现在 2000—2002 年,为 1 249.90 m/a;NDMI 第 4 等级迁移方向为先向西南方,然后向东南,再向西北,最后向东方迁移;NDMI 第 5 等级 1988—2002 年表现为向东方迁移,然后向西北方,最后向东南方向移动。

表 3 2002—2010 年 NDMI 等级面积转移矩阵 km²

NDMI		2010 年					合计
指数		低	较低	中度	较高	高	
2002 年	低	—	110.02	86.40	18.88	0.74	216.04
	较低	52.33	—	206.62	16.72	0.28	275.96
	中	164.98	281.21	—	374.87	1.42	822.48
	较高	40.20	79.08	1100.29	—	9.68	1229.24
	高	3.12	2.92	5.18	13.59	—	24.81
	合计	260.63	473.23	1398.49	424.07	12.12	—

2000—2002 年 NDMI 各个等级之间变换最为活跃,各等级的最大迁移速率均出现在此阶段,其次是 2007—2010 年较为活跃;除第 3 等级外,其他等级 NDMI 迁移距离皆较大。

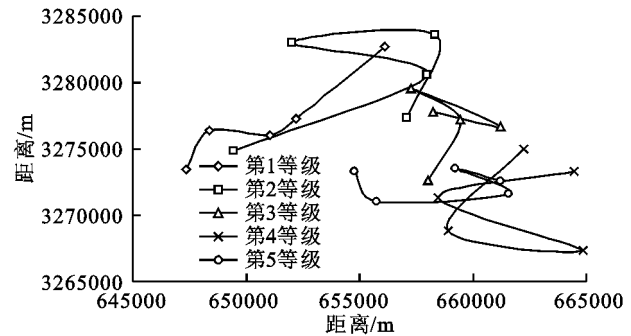


图 3 重庆市都市区各等级 NDMI 指数
平面空间重心迁移分布

表 4 重庆市都市区各地类平面空间重心迁移速率

项目	m/a				
	第 1 等级	第 2 等级	第 3 等级	第 4 等级	第 5 等级
V _{1988—2000} 年	672.96	553.86	371.74	466.97	228.40
V _{2000—2002} 年	1298.98	3624.80	1249.90	2363.42	1947.79
V _{2002—2007} 年	604.60	1407.45	975.05	1282.98	322.59
V _{2007—2010} 年	799.36	3169.03	450.81	2100.19	668.75

4.5 基于地形梯度下的归一化水汽指数分布特征

利用公式(3),计算得到表 5、图 4。由图 4 可以看出,低水汽指数在 1 级地形位上分布指数均大于 1,分布指数几乎是逐年递减的变化趋势,在 4,5,6 级地形

位上分布指数较低。较低水汽指数在 2,3 级地形位上呈优势分布,大多集中在 300~1 200 m 高程的平地、600 m 高程以下的低缓坡以及 500 m 以下的高缓坡;5,6 级地形位上分布指数变化幅度较大。中度水汽指数在 3,4,5 级地形位上分布指数较大,且各年份中在 4,5 级地形位上分布指数较稳定,1,6 级地形位上分布指数偏低。较高水汽指数在 1,2,3 级地形位分布指数偏低,从 3 级地形位分布指数普遍升高,4,5,6 级地形位分布指数较高。高水汽指数在不同时期不同地形位上的分布指数差异较为明显,1988 年和 2002 年的变化趋势相同,1—2 级地形位上分布指数大幅度升高,2—6 级地形位分布指数呈现明显下降趋势,且在 2 级地形位上呈明显的优势分布;2002 年、2007 年、2010 年在 1—2 级分布指数大幅度减少,2—6 级地形位上 2002 年和 2010 年分布指数较平稳,2007 年在 5—6 级地形位上分布指数有所上升。

综合分析以上数据可以得出,2007 年和 2010 年地表水汽的变化不大;低水汽指数区域在高坡度和高海拔内分布指数波动较大,集中分布在 300~500 m 高程的平地 and 100~400 m 的低缓坡区域中,该区域为建设用地集中分布区域;中度水汽指数中分布指数在 1—3 级地形位上增加,在 3—6 级地形位上呈现减少的趋势;较高水汽指数中分布指数在 1—3 级地形位总体略微减少,在 3—6 级地形位上增多;高水汽指数在 1,2 级地形位的分布指数最多,主要是重庆都市区长江和嘉陵江流经的区域主要集中在 1,2 级地形位。

表 5 各高程与坡度组合下的地形位分布指数级别分布

坡度等级	1 级高程	2 级高程	3 级高程	4 级高程	5 级高程	6 级高程
	(100~300 m)	(300~400 m)	(400~500 m)	(500~600 m)	(600~1200 m)	(>1200 m)
1 级坡度(0°~2°)	1	2	2	3	3	4
2 级坡度(2°~6°)	2	2	3	3	4	5
3 级坡度(6°~15°)	3	3	3	4	5	5
4 级坡度(15°~25°)	4	4	4	4	5	5
5 级坡度(25°~35°)	4	5	5	5	5	6
6 级坡度(>35°)	5	5	6	6	6	6

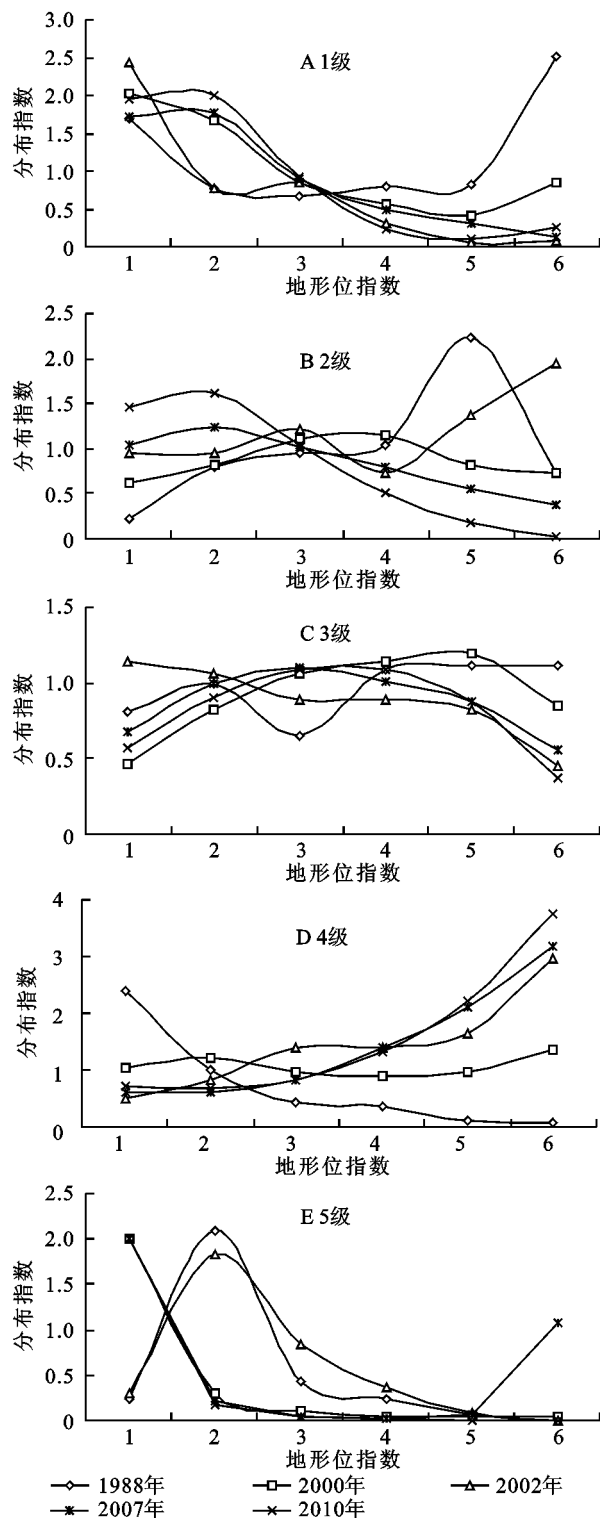


图4 不同地形位等级下的 NDMI 分布指数变化

5 结论

(1) 1988—2010 年各等级 NDMI 在每个时间点上面积分布的大小顺序都呈现出相同的规律,即中度水汽指数>较高水汽指数>较低水汽指数>低水汽指数>高水汽指数。

(2) 渝中区中低水汽指数面积所占其总面积比例一直最大,巴南区中高水汽指数面积占都市区中高

水汽指数总面积比例最大。随着建设用地面积的扩大,城市的发展,地表水汽含量总体有所减少。

(3) 各等级 NDMI 的面积转换主要集中在相邻等级之间,符合向临近等级转换的规律。

(4) 从平面重心变化上,1,2 级 NDMI 与城市建设用地的迁移轨迹呈现相似性,2000—2002 年各等级 NDMI 的最大迁移速率均出现在此阶段。

(5) 从垂直重心变化上,低水汽指数区域在高坡度和高海拔内分布指数波动较大,集中分布在 300~500 m 高程的平地 and 100~400 m 的低缓坡区域中,高水汽指数在 1,2 级地形位的分布指数最多。

参考文献:

- [1] 钱乐祥,崔海山. 归一化水汽指数与地表温度的关系[J]. 地理研究, 2008, 27(6): 1358-1366.
- [2] 张佳华,姚凤梅,李莉,等. 基于遥感和地面试验的水分指数与土壤湿度及生理指标关系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 151-155.
- [3] 陈书林,刘元波,温作民. 卫星遥感反演土壤水分研究综述[J]. 地球科学进展, 2012, 27(11): 1192-1203.
- [4] 王刚,管东生. 植被覆盖度和归一化湿度指数对热力景观格局的影响:以广州为例[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2429-2436.
- [5] 李仕峰,钱乐祥,王瑾. 基于陆地卫星 TM/ETM+改进的温湿指数及其对不透水表面的响应[J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(2): 112-115.
- [6] 任霞,高超,张洁. 城市热岛效应与地表特征参数的定量研究[J]. 科技信息, 2011(12): 440-441.
- [7] 中华人民共和国国土资源部. 第二次全国土地调查技术规程 TD/T1014—2007[S]北京:中国标准出版社, 2007.
- [8] 陈丹,周启刚,何昌华,等. 重庆山地都市区 1985—2010 年土地利用变化地形特征分异研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(3): 86-91.
- [9] 周鹏,丁建丽,王飞,等. 植被覆盖地表土壤水分遥感反演[J]. 遥感学报, 2010, 14(5): 966-973.
- [10] 李少青. 湘江流域土地利用变化的地表水热环境响应研究[D]. 湖南湘潭:湖南科技大学, 2012.
- [11] 陈楠,杨武年,李娟. 巴中市丘陵山区土地利用在地形梯度上的分布特征[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 185-188.
- [12] 周启刚,陈丹. 重庆山地都市区土地利用地形特征分异研究[J]. 水土保持研究, 2013, 21(3): 86-91.
- [13] 许宁,张广录,刘紫玉. 基于地形梯度的河北省太行山区土地利用时空变异研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10): 1284-1292.
- [14] 周启刚,陈丹,陈倩. 重庆山地都市区 1985—2010 年土地利用重心迁移研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(4): 1-5.
- [15] 李建辉,周启刚,陈倩,等. 基于 RS 和 GIS 的建设用地变化研究:以重庆市主城九区为例[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版, 2012, 29(1): 76-81.