

引用格式: Xu Hanqiu, Deng Wenhui. Rationality Analysis of MRSEI and Its Difference with RSEI[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(1): 1-7. [徐涵秋, 邓文慧. MRSEI 指数的合理性分析及其与 RSEI 指数的区别[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(1): 1-7.]
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2022.1.0001

MRSEI 指数的合理性分析及其与 RSEI 指数的区别

徐涵秋^{1,2}, 邓文慧^{1,2}

(1. 福州大学环境与资源学院 福州大学遥感信息工程研究所, 福建 福州 350116;
2. 福建省水土流失遥感监测评价重点实验室, 福建 福州 350116)

摘要: 遥感生态指数(RSEI)自提出以来, 已得到广泛的应用。近年来, 也有学者对其进行了修改。研究基于主成分变换的机理和应用实例, 分析了修改的遥感生态指数(MRSEI)的合理性及其与 RSEI 的区别。结果表明: MRSEI 指数将不具生态含义的第二主成分和第三主成分加入具有明确生态含义的第一主成分进行加权求和计算, 其结果不仅降低了第一主成分的占比, 无法增加原 RSEI 的信息量, 而且还导致各主成分分量互相干扰, 造成 MRSEI 结果的低估或高估。因此, 这一修改缺乏合理性。研究同时还对用户在计算 RSEI 指数中碰到的一些问题进行分析。RSEI 在使用中应注意采用植物生长季节的地表反射率数据; 当研究区有大面积水体时, 必须对水体进行掩膜; 而只有当对生态起正面影响的绿度(NDVI)和湿度(Wet)指标在 PC1 的载荷为负值时, 才必须进行“1 - PC1”的还原运算。

关键词: RSEI; MRSEI; 主成分变换

中图分类号: TP75; X87 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2022)01-0001-07

1 引 言

遥感生态指数 RSEI (Remote Sensing based Ecological Index) 自 2013 年提出以来^[1-2], 因其具有数据源容易获取、权重不是人为设定、结果能够合理反映区域生态状况且能够可视化等优点而被广泛应用。相关代表论文已被引用近 1 200 次(其中 SCI 论文引用 225 次), 应用范围遍及城市^[3-6]、乡村^[7-8]、森林^[9-10]、湿地^[11-12]、海岛^[13-14]、沙漠^[15-16]、黄土地^[17-18]、矿区^[19]等各种不同的地理环境。迄今, 国内外发表的 RSEI 有关论文已有 272 篇(其中国际论文 56 篇); 互联网上也可以见到采用各种算法语言编写的便于 RSEI 计算的代码, ENVI 遥感软件也将其作为培训专题之一, 说明 RSEI 指数已被广大学者所接受。

RSEI 自提出以来, 也有学者对其进行了修改。

本文将从指数创建的机理上讨论宋美杰等^[20]修改的 MRSEI 指数 (Modified Remote Sensing Ecological Index) 的合理性及其与 RSEI 的区别。同时也针对读者在计算和应用 RSEI 中碰到的一些问题进行了分析和讨论, 以帮助读者更好地应用 RSEI 指数。

2 RSEI 与 MRSEI 指数的构建

2.1 RSEI 指数

在生态评价模型的构建中, 如何选择有代表性的指标, 如何科学地集成各个指标, 一直是多指标建模的难题。各种指标设立的权重或多或少都会带有一定的主观性, 不同的地区也很难用统一的权重来建模, 由此构建的模型也往往缺乏普适性。RSEI 遥感生态指数选用的是湿度(wetness)、绿度(greenness)、干度(dryness)和热度(heat)这 4 个人类能够直观感受生态优劣的指标, 它们也是与人类

收稿日期: 2021-11-29; 修订日期: 2022-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(31971639)。

作者简介: 徐涵秋(1955—), 男, 江苏盐城人, 教授, 主要从事环境资源遥感应用研究。E-mail: hxu@fzu.edu.cn

生存息息相关的重要指标,因此具有较好的代表性。RSEI采用主成分变换来集成所选的4个指标,由第一主成分(PC1)来构建RSEI,各指标的权重通过它们对PC1的贡献度来客观确定,而贡献度又取决于各研究区数据的特性,而不是人为的主观因素,因此模型具有较强的鲁棒性,可以适用于各种不同地理条件的地区。RSEI的模型可以简略表示为:

$$RSEI = PC1[f(\text{wetness}, \text{greenness}, \text{dryness}, \text{heat})] \quad (1)$$

RSEI的4个指标全部可由遥感数据计算获得,因此,不仅解决了许多模型的数据不易获取的难题,还使得生态评价结果可视化。RSEI的4个指标(wetness、greenness、dryness和heat)分别由缨帽变换的湿度分量(Wet)、植被指数(NDVI)、建筑裸土指数(NDBSI)和地表温度(LST)代表。

2.2 MRSEI 指数

MRSEI选用的4个指标以及基于主成分分析的指标集成法和RSEI完全一致,唯一不同的是宋美杰等认为^[20]:原RSEI仅采用单个主成分分量(PC1)构建指数,造成信息利用不充分,因此必须采用前3个主成分分量(PC1~3)来集成MRSEI,以增加信息量,并在每个分量前乘上各分量的贡献率值作为每个分量的权重(w),即:

$$MRSEI = w_1 PC1 + w_2 PC2 + w_3 PC3 \quad (2)$$

在发表MRSEI论文的表1中^[20],经过3个主分量计算的MRSEI所含的信息量可达100%。因此,RSEI与MRSEI的区别就在于:①采用3个主成分分量来集成生态指数是否必要?②主成分分量是否一定要具有100%的信息量?为了讨论这两个问题,必须了解主成分分析的基本原理。

2.3 主成分分析的原理

RSEI与MRSEI在指数合成上所表现的不同可归因于是否理解主成分分析的原理。主成分分析是一种常用的数据维压缩技术,在多维数据集中,主成分分析通过旋转坐标轴,将数据集的信息压缩到前面几个相互垂直的主分量上,从而达到减少数据维数的目的。图1以二维和三维正态数据为例图解了主成分变换的基本原理,从图中可以看出,通过坐标旋转后的3个主成分分量具有以下重要特征:①PC1代表坐标旋转后椭圆(球)长轴方向的特征向量,因此具有最大的信息量,PC2代表次长轴方向,PC3代表短轴方向,因此有 $PC1 > PC2 > PC3$;②各主成分分量之间相互垂直,也因此相互独

立、互不相关。这里需要特别强调的是:各主成分分量互不相关。

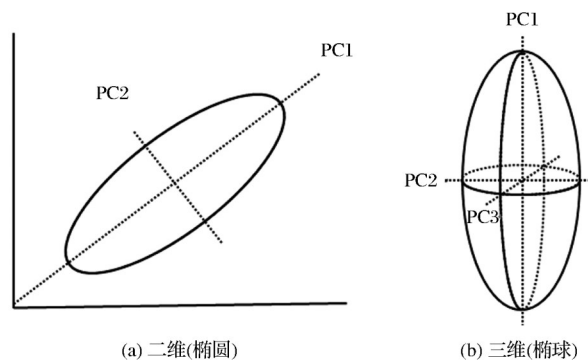


图1 主成分分析示意图

Fig. 1 Illumination of principal components analysis

主成分的各个分量通常包含有特定的信息,因此在遥感特征信息提取时,研究者更关注的是每个主成分分量所含的特征信息,而不是它们的信息量。因此,对各个主分量的科学解释是主成分分析在遥感应用中的难点^[21]。在遥感地质找矿中,某一蚀变矿物的信息往往和某个特定的主成分分量有关。在 multisensor 遥感影像的变化检测中,第一主成分PC1往往集合了各年份影像的共有特征,后面的次级主成分分量因独立于PC1,而往往代表着各年份影像的差异特征。可见,主成分分析的一个重要环节就是发现代表某一特定信息的主成分分量,而不是片面追求某一主成分分量的信息量。在遥感地质中,许多矿物信息往往赋存在信息量很低的PC4^[22-23]、甚至PC6^[24]中;在 multisensor 遥感变化检测中,各年份的变化信息也通常赋存在PC3或PC4中^[21,25]。显然,主成分分析更重要的是发现各主分量是否含有特定信息,而不是各主分量的信息量大小。由于主成分变换后的各主分量所代表的信息互不相关,因此,不能为了追求信息量而不加分析地随意将几个互不相关的主分量加在一起,其结果必然造成不同信息的互相干扰和混淆。如将时序变化检测中代表共有信息的PC1和代表变化信息的PC3加在一起,其结果既无法代表各年份影像的共同特征,也无法代表它们之间的变化特征。因此,主成分变换产生的各主分量多因含有特定信息而被独立使用,而不是因为考虑它们所占的信息量有多少,将毫不相干的不同主分量加在一起来增加所谓的“信息量”。

在RSEI生态指数选用的4个指标中,对生态有益的绿度和湿度在第一主成分PC1中的载荷值具

有相同的符号,对生态不利的干度和热度的载荷值则具有与绿度和湿度相反的符号。对生态有益和对生态不利的指标分成截然不同的两组,这表明PC1具有明确的生态意义。现有的研究已证明,这一规律无论在什么地方都没有出现例外。但4个指标在PC2和PC3的载荷符号却没有明显的规律,经常忽正忽负,对生态有益和对生态不利的指标经常混在同一组(见下节的实例分析)。因此,PC2和PC3不具明确的生态含义。如果将PC2和PC3与具有明确生态含义的PC1加在一起,只会对PC1所代表的生态信息造成干扰,而不会对其有所改进。宋美杰等^[20]在提出MRSEI时,可能不了解主成分变换的基本原理,片面地追求信息量,因此并没有对PC2和PC3究竟是否具有生态含义进行分析,而是把它们盲目地加入PC1。

3 RSEI与MRSEI的计算实例

3.1 主成分分量特征分析

研究以雄安新区为例来进一步说明RSEI和MRSEI的区别。该区地表具有建筑用地、耕地、林地、裸土、湿地、河流、湖泊等多种生态类型。选用

的是2020年9月4日的Landsat 8影像(下载于美国地质调查局网站, <https://earthexplorer.usgs.gov/>)。将影像数据反演为地表反射率后,分别计算出4个指标Wet、NDVI、NDBSI和LST,并反演出它们的主成分分量(表1、图2)。由于MRSEI没有用到PC4,因此图表中略去PC4的统计特征和影像。

表1 指标主成分分析

Table 1 Principal components analysis of four indicators

指标	PC1	PC2	PC3
Wet	0.345	0.225	-0.597
NDVI	0.590	-0.807	0.020
NDBSI	-0.362	-0.265	0.524
LST	-0.634	-0.477	-0.606
特征值	0.085	0.014	0.004
特征值占比/%	81.7	13.4	3.9

从表1中可以看出,3个主成分分量(PC1~3)具有以下特征:①在第一主成分PC1中,代表绿度的NDVI和代表湿度的Wet的载荷值呈正值,说明它们对生态系统起正面的贡献,代表干度和热度的NDBSI和LST的载荷值呈负值,说明它们对生态起负面的影响,这与2.3节中的分析相符。②在

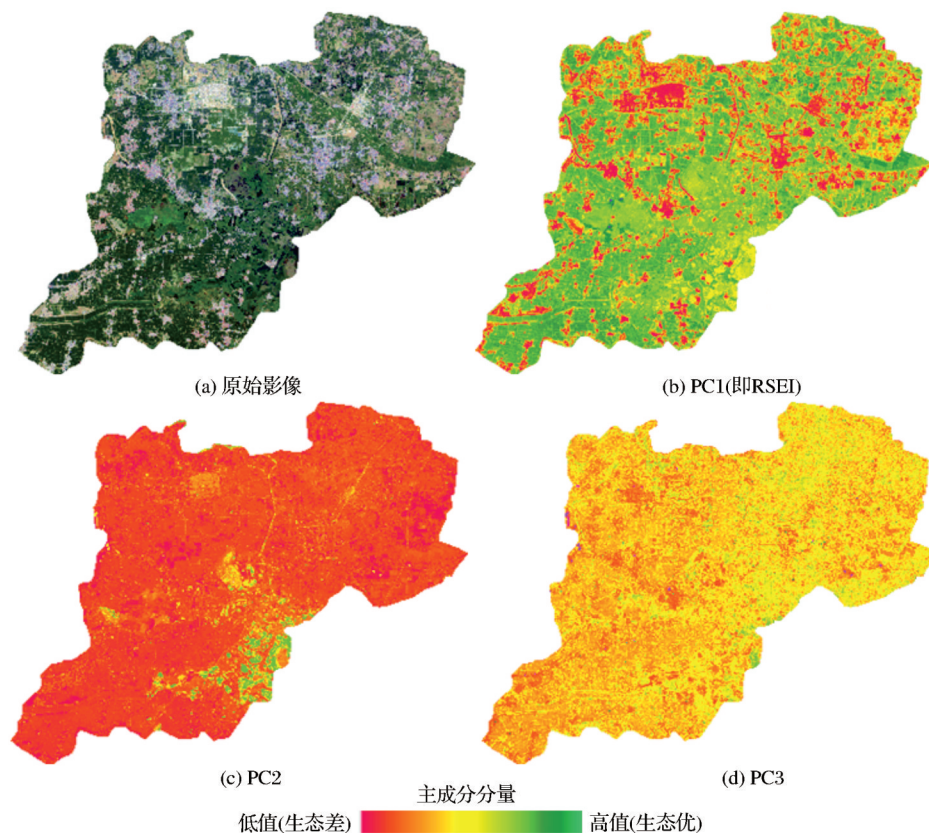


图2 雄安新区真彩色影像和PC1、PC2、PC3主分量影像

Fig. 2 True color images of the Xiongan New Area and its transformed PC1, PC2 and PC3 images

PC2 中, 绿度 (NDVI) 与干度 (NDBSI) 和热度 (LST) 同为负值, 同为对生态起负面影响, 这显然有悖于实际生态情况。另外, 绿度的载荷绝对值明显大于 NDBSI 和 LST 的绝对值, 说明绿度起的负面作用要大于干度和热度之和 ($|-0.807| > (|-0.265| + |-0.477|)$), 这显然更不合理。因此, 用 PC2 解释生态将会产生错误的结果。③同样, PC3 也难以用于解释生态状况。在 PC3 中, 干度 (NDBSI) 的载荷值达到 0.524, 成了对生态起正面作用的最大因子, 而对生态其正面作用的湿度在 PC3 的载荷值为 -0.597, 成了最大的负面因子, 这显然又与实际生态情况不符, 也不能用于解释生态。

从各主成分分量的影像图来看 (图 2), PC1 的影像很好地反映了原始影像的生态状况, 绿地呈绿色调, 代表生态质量优良, 而建设用地和裸地呈红黄色调, 代表生态质量较差。而 PC2 影像中, 由于代表植被的 NDVI 表现为负向指标, 且与其它两个负向指标的绝对值之和 (1.549) 显著大于正向指标 Wet 的 0.225, 因此 PC2 影像以低值、代表生态差的红色调为主。植被以生态差的红色显示说明 PC2 所代表的信息与实际生态情况不符。由于只有湿度的载荷值呈较小的正值, 因此 PC2 影像在白洋淀一带才有少量绿色出现。PC3 影像则以噪音为主, 其 2 个负向指标的绝对值之和 (1.203) 也大于正向指标之和 (0.544), 但差距没有 PC2 明显, 因此影像以黄、橙色调为主, 同样与实际生态情况不符。

上述分析表明, 只有 PC1 能够合理地解释区域生态状况, 也因此被用于创建生态指数 RSEI。而 PC2 和 PC3 中的指标载荷值的符号相互矛盾, 忽正忽负, 将对生态起正面影响的因子解释为负面因子, 对生态起负面影响的因子又解释为正面因子, 因此, PC2 和 PC3 不具生态含义。从现有发表的论文来看, 它们在不同地区和不同时间的表现也是忽正忽负, 没有规律可循, 将它们加入生态含义清晰的 PC1 显然是不合理的。

3.2 MRSEI 计算

表 1 中, 3 个主成分分量 (PC1、PC2、PC3) 的特征值所占比例分别为 81.73%、13.46% 和 3.85%, 分别将它们作为 3 个主成分分量的权重 (w) 代入公式 (2) 计算 MRSEI。同时, 我们还设计了两套 3 个主成分量的不同比例组合, 以进一步分析比例变化对 RSEI 的影响, 表 2 为计算结果。

由于 RSEI 完全由第一主成分 PC1 代表, 因此

表 2 RSEI 和 MRSEI 的比较

Table 2 Comparison of RSEI with MRSEI

	主分量占比/%	均值	降低/%
RSEI	PC1:100	0.677 3	
MRSEI1	PC1:81.7, PC2:13.4, PC3:3.9	0.671 2	-0.9
MRSEI2	PC1:75, PC2:19, PC3:5	0.662 5	-2.2
MRSEI3	PC1:65, PC2:27, PC3:7	0.660 4	-2.5

注: 因为 PC4 约占 1%, 所以上 PC1~3 的比例组合之和为 99%

其 PC1 的比例可视为 100%, 由此 PC1 计算的 RSEI 值为 0.677 3 (表 2)。而采用 3 个主分量真实比例组合 (PC1:81.73%, PC2:13.46%, PC3:3.85%), 计算获得的 MRSEI1 值为 0.671 2, 比 RSEI 降低了近 1%。两个设计的比例组合分别将 PC1 的占比下降为 75% 和 65%, PC2 和 PC3 的占比获得相应的提升, 其计算得到的 MRSEI2 进一步下降至 0.662 5, 比 RSEI 降低了 2.2%; MRSEI3 下降到 0.660 4, 比 RSEI 降低了 2.5%。可见, 加入 PC2 和 PC3 会削弱 RSEI, 且随着 PC1 比例降低的越多, RSEI 削弱的幅度越大。这主要是因为 RSEI 中, 真正代表生态信息的 PC1 的占比达到 100%, 而 MRSEI 因为加入其他生态含义不清的次级主成分分量而降低了 PC1 的占比, 特别是 PC2 中植被成了生态的负面影响因子, 且载荷绝对值很大, 加入后抵消了 PC1 中的植被因子的影响, 从而导致计算出的生态指数值下降, 且随着 PC1 比例的下降和 PC2、PC3 比例的上升, MRSEI 与 RSEI 的差距逐渐增大。

从以上实例来看, MRSEI 对 RSEI 的修改不具实用意义。因为当 PC1 的特征值占比高时 ($>80\%$), MRSEI 的结果虽然低于 RSEI, 但差距很小, 所以使用 MRSEI 只会徒增计算量, 完全没有必要; 而当 PC1 的特征值 $<80\%$ 时, MRSEI 会明显降低 RSEI 的数值, 所以更不能采用。

4 RSEI 指数应用中的几个问题

4.1 数据问题

建议采用经过大气校正的地表反射率数据来计算 RSEI 指数, 而不要采用表观反射率或原始亮度值 (DN) 计算。地表反射率可以采用专业软件或日照大气校正模型 (IACM)^[26] 来反演, 也可以直接下载反射率数据, 如 Landsat 和 MODIS 都有提供地表反射率数据产品。需要注意的是, 专业软件校正的地表反射率或下载的地表反射率产品经常会出现反射率值小于 0 或大于 1 的数据, 它们属于异常值, 因为地表反射率不会出现负反射或超过 100%

的反射。因此必须对这些数据进行修正,以避免在计算RSEI的4个指标时出现异常。

4.2 影像数据的时相及应用 Google Earth Engine (GEE)平台的问题

由于植被与生态质量紧密相关,RSEI指数采用植被绿度作为关键指标,因此,影像数据必须选用植被生长季节的影像,以保证反演结果的准确性。必须指出的是,现在许多学者采用GEE平台来获取逐年影像数据,但月份的选择一定要限制在植被的生长季节,如果大量冬季的影像被选入逐年影像中,则无法保证RSEI指数反演结果的准确性。

4.3 采用协方差矩阵或相关矩阵问题

主成分变换可以采用协方差矩阵或相关矩阵来计算,但由于RSEI指数是基于协方差矩阵开发的,因此建议采用协方差矩阵来进行主成分变换。

4.4 “1 - PC1”的问题

用户在反演出PC1后是否进行“1 - PC1”的运算,这取决于计算出的4个指标的载荷值符号。前已述及,NDVI和Wet这两个指标对生态起正面影响,因此它们在PC1的载荷值的符号应该为正号,而对生态起负面影响的NDBSI和LST的符号则相反。但由于不同软件计算的结果并不相同,有的软件计算的NDVI和Wet可能是负值,而NDBSI和LST为正值,因此就必须采用“1 - PC1”进行还原,如果NDVI和Wet在PC1的载荷值为正值,NDBSI和LST为负值,则无需进行这一操作。

4.5 水体的掩膜问题

RSEI是针对陆地开发的生态指数,因此其所采用的湿度指标是以能揭示土壤和植被湿度的缨帽变换的湿度分量为代表,而不是以常用的水体指数为代表,因此当研究区有大片水体时,应将水体掩膜,以真实反映研究区的生态状况。

4.6 PC1的占比问题

主成分分量应用的重点在于其是否真正代表某一特定信息,而不是它的特征向量所占的百分比。从前面的讨论可知,蚀变矿物的信息经常出现在占比极低的PC4甚至PC6中。因此,在RSEI的应用中,无需特别在意PC1的占比,只要它能正确代表生态信息就可以使用。

4.7 其它MRSEI指数

近年来,也出现少数研究在RSEI的指标中加入GDP、人口等指标的修改指数,也命名为MRSEI^[27]。需要说明的是,RSEI指数是由4个代表

生态状况的指标(湿度、绿度、干度、热度)集成的生态指数。而GDP、人口等指标是影响生态的主要因子,本身并不反映生态状况,也不是生态因子,与RSEI有较大的区别,因此建议另起它名。另外,也有些学者建议将环境指标加入RSEI的指数。由于RSEI指数明确定义为Remote Sensing based Ecological Index,是生态指数而不是环境指数,指数的监测与评价对象以生态为主。虽然“生态环境”一词经常用在一起,但在学科分类中,“生态”、“环境”分属两个不同的一级学科,加入环境指标的指数就和RSEI原来的定义不同了。加上环境的指标众多,有的又无法用遥感技术获得,因此,RSEI仍以遥感可获取的生态指标为宜。

5 结 论

研究基于主成分分析的机理对比了RSEI和MRSEI生态指数,对MRSEI修改的合理性进行了分析。由于MRSEI的作者将代表特定生态信息主分量的重要性和整个数据集的信息量混为一谈,简单地认为将几个不同的主成分进行加权求和就可以充分利用信息,增加信息量,从而错误地将生态意义清晰的PC1和生态意义不明确的PC2和PC3加在一起,造成MRSEI结果的失真。

从雄安新区的应用实例来看,MRSEI降低了PC1的占比,使其结果不但无法增加原RSEI的信息量,反而导致各主成分分量互相抵消,降低了RSEI的数值。在其它地区,由于4个指标对PC2、PC3的载荷符号也可能发生变化,从而出现高估RSEI的情况。

RSEI在使用中应注意:①必须采用植物生长季节的地表反射率数据进行计算;②当对生态起正面影响的NDVI和Wet指标在PC1的载荷为负值,而对生态起负面影响的NDBSI和LST在PC1的载荷为正值时,必须采用“1 - PC1”进行还原,否则,无需进行这一操作;③当研究区出现大面积水体时,必须对水体进行掩膜。

参考文献(References):

- [1] Xu Hanqiu. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes[J]. China Environmental Science, 2013, 33(5): 889-897.[徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指标[J]. 中国环境科学, 2013, 33(5): 889-897.]
- [2] Xu Hanqiu. A remote sensing urban ecological index and its

- application[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(24): 7853-7862.[徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7853-7862.]
- [3] Zhu D Y, Chen T, Wang Z W, *et al.* Detecting ecological spatial-temporal changes by Remote Sensing Ecological Index with local adaptability[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 299: 113655. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113655.
- [4] Saleh S K, Amoushahi S, Gholipour M. Spatiotemporal ecological quality assessment of metropolitan cities: a case study of central Iran[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, 193(5): 305. DOI: 10.1007/s10661-021-09082-2.
- [5] Cheng Zhifeng, He Qisheng. Remote sensing evaluation of the ecological environment of Su-Xi-Chang city group based on Remote Sensing Ecological Index (RSEI)[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2019, 34(3): 531-539.[程志峰, 何祺胜. 基于RSEI的苏锡常城市群生态环境遥感评价[J]. 遥感技术与应用, 2019, 34(3): 531-539.]
- [6] Firozjaei M K, Kiavarz M, Homaee M, *et al.* A novel method to quantify urban surface ecological poorness zone: a case study of several European cities[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 757: 143755. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143755.
- [7] Xu H Q, Wang M Y, Shi T T, *et al.* Prediction of ecological effects of potential population and impervious surface increases using a Remote Sensing based Ecological Index (RSEI)[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 93: 730-740. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.05.055.
- [8] Yuan B D, Fu L N, Zou Y, *et al.* Spatiotemporal change detection of ecological quality and the associated affecting factors in Dongting Lake Basin, based on RSEI[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 302: 126995. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126995.
- [9] Xu H Q, Wang Y F, Guan H D, *et al.* Detecting ecological changes with a Remote Sensing based Ecological Index (RSEI) produced time series and change vector analysis[J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(20): 2345. DOI: 10.3390/rs11202345.
- [10] Yang Huiting, Xu Hanqiu. Assessing fractional vegetation cover changes and ecological quality of the Wuyi Mountain National Nature Reserve based on remote sensing spatial information[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(2): 533-542.[杨绘婷, 徐涵秋. 基于遥感空间信息的武夷山国家级自然保护区植被覆盖度变化与生态质量评估[J]. 应用生态学报, 2020, 31(2): 533-542.]
- [11] Jing Y Q, Zhang F, He Y F, *et al.* Assessment of spatial and temporal variation of ecological environment quality in Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve, Xinjiang, China[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 110: 105874. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105874.
- [12] Qureshi S, Alavipanah S K, Konyushkova M, *et al.* A remotely sensed assessment of surface ecological change over the Gomishan Wetland, Iran[J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(18): 2989. DOI: 10.3390/rs12182989.
- [13] Xu Hanqiu, Zhang Hao. Ecological response to urban expansion in an Island City: Xiamen, Southeastern China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(7): 867-872.[徐涵秋, 张好. 海岛型城市扩展的生态效应分析——以厦门岛为例[J]. 地理科学, 2015, 35(7): 867-872.]
- [14] Liu C, Yang M H, Hou Y T, *et al.* Spatiotemporal evolution of island ecological quality under different urban densities: a comparative analysis of Xiamen and Kinmen Islands, Southeast China[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 124: 107438. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107438.
- [15] Jiang Chaoliang, Wu Ling, Liu Dan, *et al.* Dynamic monitoring of eco-environmental quality in arid desert area by remote sensing: taking the Gurbantunggut Desert China as an example[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(3): 877-883.[蒋超亮, 吴玲, 刘丹, 等. 干旱荒漠区生态环境质量遥感动态监测——以古尔班通古特沙漠为例[J]. 应用生态学报, 2019, 30(3): 877-883.]
- [16] Airiken M, Zhang F, Chan N W, *et al.* Assessment of spatial and temporal ecological environment quality under land use change of urban agglomeration in the North Slope of Tianshan, China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-16579-3.
- [17] Song Huimin, Xue Liang. Dynamic monitoring and analysis of ecological environment in Weinan City, Northwest China based on RSEI model[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(12): 3913-3919.[宋慧敏, 薛亮. 基于遥感生态指数模型的渭南市生态环境质量动态监测与分析[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3913-3919.]
- [18] Li Xiaoming, Sun Congjian, Sun Jiulin, *et al.* Ecological security characteristics of main irrigated agricultural areas on the Loess Plateau based on remote sensing information[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(9): 3177-3184.[李晓明, 孙从建, 孙九林, 等. 基于遥感信息的黄土高原主要灌溉农业分布区生态安全特征[J]. 应用生态学报, 2021, 32(9): 3177-3184.]
- [19] Nie X R, Hu Z Q, Zhu Q, *et al.* Research on temporal and spatial resolution and the driving forces of ecological environment quality in coal mining areas considering topographic correction[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(14): 2815. DOI: 10.3390/rs13142815.
- [20] Song Meijie, Luo Yanyun, Duan Limin. Evaluation of ecological environment in the Xilin Gol Steppe based on modified remote sensing Ecological Index Model[J]. *Arid Zone Research*, 2019, 36(6): 1521-1527.[宋美杰, 罗艳云, 段利民. 基于改进遥感生态指数模型的锡林郭勒草原生态环境评价[J]. 干旱区研究, 2019, 36(6): 1521-1527.]
- [21] Hussain M, Chen D M, Cheng A, *et al.* Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2013, 80: 91-106. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.

- 2013.03.006.
- [22] van der Meer F D, van der Werff H M A, van Ruitenbeek F J A, *et al.* Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: a review[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012, 14 (1) : 112 - 128. DOI: 10.1016/j.jag.2011.08.002.
- [23] Crôsta A P, De Souza C R, Azevedo F, *et al.* Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(21): 4233 - 4240. DOI: 10.1080/0143116031000152291.
- [24] Kargi H. Principal components analysis for borate mapping [J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28 (7-8): 1805 - 1817. DOI: 10.1080/01431160600905003.
- [25] Panuju D R, Paull D J, Griffin A L. Change detection techniques based on multispectral images for investigating land cover dynamics [J]. Remote Sensing, 2020, 12 (11) : 1781. DOI: 10.3390/rs12111781.
- [26] Xu H Q. Evaluation of two absolute radiometric normalization algorithms for pre-processing of Landsat imagery [J]. Journal of China University of Geosciences, 2006, 17(2): 146 - 157. DOI: 10.1016/S1002-0705(06)60020-4.
- [27] Nong Lanping, Wang Jinliang, Yü Yuanhe. Research on ecological environment quality in central Yunnan based on MRSEI model [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(8): 972-982. [农兰萍, 王金亮, 玉院和. 基于改进型遥感生态指数(MRSEI)模型的滇中地区生态环境质量研究[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(8): 972-982.]

Rationality Analysis of MRSEI and Its Difference with RSEI

Xu Hanqiu^{1,2}, Deng Wenhui^{1,2}

(1. College of Environment and Safety Engineering, Institute of Remote Sensing Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory of Remote Sensing of Soil Erosion, Fuzhou 350116, China)

Abstract: The Remote Sensing based Ecological Index (RSEI) has been widely used since its publication and was modified recently. In this paper, the differences between RSEI and the Modified Remote Sensing Ecological Index (MRSEI) are analyzed and compared based on the principle of the principal component analysis and an application case. The results show that the MRSEI index unreasonably adds the second principal component (PC2) and the third principal component (PC3) into the first principal component (PC1), as PC2 and PC3 have no clear ecological meanings. The addition also reduces the weight of PC1. Therefore, the MRSEI does not improve the original RSEI, but reduces the value of RSEI as the added principal component components can cancel each other. Therefore, the modification made in MRSEI lacks rationality. This paper also analyzes and discusses some issues that users encountered in calculating and applying the RSEI index. The RSEI should be calculated using surface reflectance data rather than the top of atmospheric reflectance data or Digital Numbers (DNs). Also, the imagery should be acquired in plant growing seasons. When there is large-area open water in study images, the water must be masked in advance. The "1 - PC1" procedure can only be performed when the loadings of the greenness and wetness indicators in PC1 have negative signs.

Key words: RSEI; MRSEI; Principal components transformation