

# 植被指数-垂直干旱指数特征空间 法估算黑河流域的地表蒸散

王丽娟，郭锐，沙莎，胡蝶，王玮

2017年4月28日



# 主要内容

1. 研究意义及目的
2. 研究区及数据简介
3. 研究方法简介
4. 结果分析
5. 结论



# 1. 研究目的及意义

蒸散作为能量平衡和水平衡中的关键因子，在水文、气象和农业中都占据着重要地位。多光谱的遥感数据就可以提供准确的下垫面信息，从而提高区域地表蒸散估算的精度，其中特征空间法就是一种常见的用来估算地表蒸散的模型。



特征空间法主要以植被和土壤信息互补为基础，为区域土壤湿度状况及蒸散的估算提供有效信息。



利用特征空间法估算区域蒸散的工作中最重要的环节就是干湿边上“斜率” $\phi$ 的确定。而在特征空间法中一般都是利用植被指数来确定干边的相关参数，即 $\phi=f(VI)$ ，没有涉及土壤湿度。而在干旱半干旱区，水分和植被是影响地表蒸散的两大主要因素，所以我们尝试在干边的确定中引入表征土壤湿度的相关参数。



不少研究者发现红光、近红外及短波红外波段组成的光谱特征空间与土壤湿度密切相关。在此基础上阿布都瓦斯提·吾拉木研究指出短波红外对液态水更加敏感，由短波红外组成的二维光谱特征空间可以更好地描述土壤含水量的分布，并提出一种新的指数描述土壤含水量，即垂直干旱指数 perpendicular drought index (PDI)。所以我们尝试在干边的确定中引入表征土壤湿度的垂直干旱指数PDI，即 $\phi=f(VI,PDI)$ 。



因此本文在Landsat/ETM+资料的基础上，通过利用PDI来与NDVI构建特征空间，并在 $\phi$ 的计算中引入PDI指数，以此确定特征空间内任意点的蒸发散速率，并利用2012年在黑河流域的实测资料对估算结果进行检验，改善蒸散速率的估算精度。这不仅可以为该地区地表蒸散的估算提供参考，还可以为干旱半干旱地区的气象、水文及农业研究提供依据。





## 2. 研究区及数据简介

黑河流域位于我国西北内陆地区，位于河西走廊中部，受中高纬度的西风带环流和极地冷涡气团影响，气候干燥，降水稀少，昼夜温差较大。

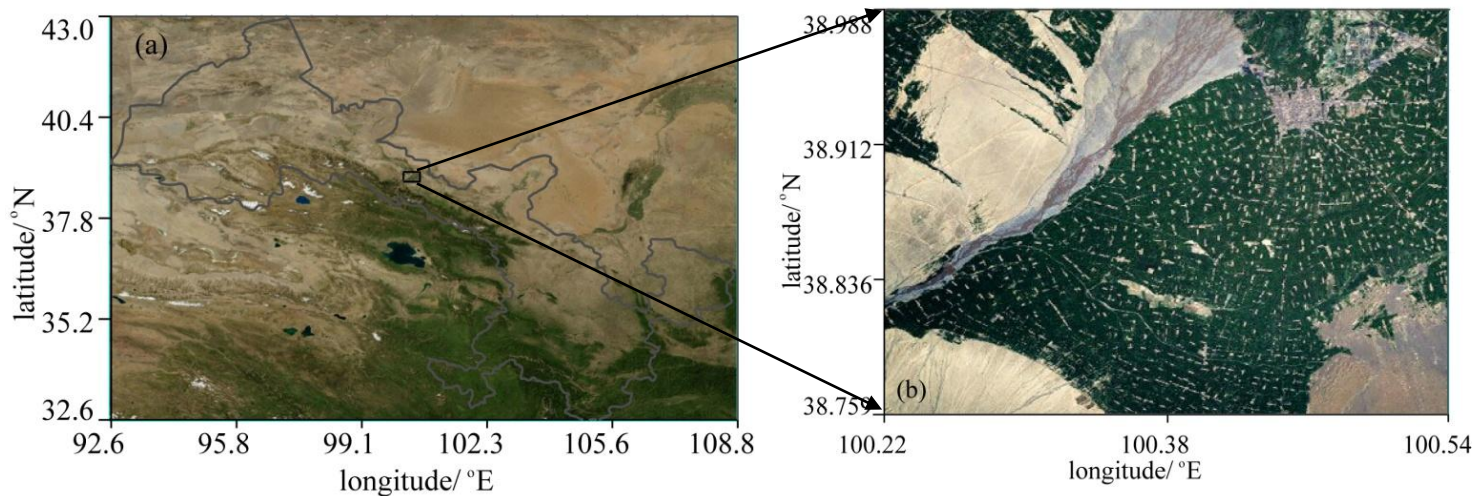


图1. 研究区地理位置





本文所使用的卫星资料为2012年6月~9月的6景Landsat7/ETM+影像，具体日期分别为2012年6月24日、2012年7月10日、2012年7月26日、2012年8月11日、2012年8月27日、2012年9月12日，卫星过境时刻的气象条件见表1。首先利用ENVI对Landsat7/ETM+影像进行条带修复，得到完整的遥感影像，并进行大气及辐射校正得到各波段的反射率及热红外波段的辐射亮温值，最后将Landsat7/ETM+所有通道资料统一重采到空间分辨率为 $60\text{m} \times 60\text{m}$ 。



# 表1 卫星过境时刻研究区的平均气象条件

Date	Time(ETM+/ MODIS)/UTC	Ta/°C	u/m s <sup>-1</sup>	RH/%	Image(ETM+/ MODIS)	Ground Flux Stations/(正常为仅有ETM+, 加粗为 两种资料都有)
2012.6.24	03:50/04:10	25.1	1.5	21.7	Some cloud/ Some cloud	<b>EC1,EC2,EC4,EC5,EC8,EC14</b>
2012.7.10	03:50/04:10	26.4	2.4	29.2	Some cloud /Some cloud	<b>EC1,EC2,EC4,EC5,EC6,EC8,EC9,EC10,EC11,EC14,EC17,EC18</b>
2012.7.26	03:50/04:10	26.1	1.5	39.8	Cloud/Cloud	
2012.8.11	03:50/04:10	24.7	0.9	45.1	Some cloud /Some cloud	<b>EC1,EC2,EC3,EC4,EC5,EC6,EC7,EC9,EC10,EC11,EC14,EC16,EC17,EC18</b>
2012.8.27	03:50/04:10	25.4	1.6	28.1	Some cloud /Some cloud	<b>EC1,EC2,EC3,EC4,EC5,EC6,EC7,EC8,EC9,EC10,EC11,EC15,EC16,EC17,EC18</b>
2012.9.12	03:50/04:10	13.8	2.4	32.5	Some cloud /Some cloud	<b>EC1,EC2,EC3,EC4,EC5,EC6,EC7,EC8,EC9,EC10,EC11,EC14,EC15,EC16,EC17</b>



# 3. 研究方法

## 3.1. 地表温度

本文利用Landsat7/ETM+的红光和近红外波段反射率估算归一化植被指数NDVI：

$$NDVI = (R_{nir} - R_{red}) / (R_{nir} + R_{red})$$

而地表温度LST则采取Qin等提出的单窗法进行计算：

$$LST = a_s (1 - c_s - d_s) / c_s + b_s (1 - c_s - d_s) / c_s \\ + (c_s + d_s) T_6 / c_s - d_s T_m / c_s$$

其中， $a_s$ 、 $b_s$ 常数； $T_6$ 为第6通道的辐射亮温； $T_{am}$ 为大气平均温度，由近地层观测气温 $T_a$ 估算得到； $c_s = \epsilon\tau$ ； $d_s = (1 - \tau)[1 + (1 - \epsilon)\tau]$ ， $\epsilon$ 为地表比辐射率。



## 3.2. PDI

PDI指数计算如下:

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{s^2 + 1}} (R_{red} + s \cdot R_{SWIR})$$

或者:

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{s^2 + 1}} (R_{nir} + s \cdot R_{SWIR})$$

其中  $s$  为土壤背景线斜率,  $R_{SWIR}$  为短波红外的反射率。



### 3.3. 蒸散估算模型

蒸散的估算主要基于Priestley-Taylor公式进行，Jiang和Islam将Priestley-Taylor公式简化表达成如下：

$$ET = \phi \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n - G_0) \quad , (6)$$

这种简化形式为遥感估算更大区域的蒸散奠定了基础。其中，ET为地表蒸散； $\Delta$ 为水汽压-温度曲线斜率； $\gamma$ 为干湿球常数； $\phi$ 为一有限斜率。它代表了Priestley-Taylor公式中 $\alpha$ (实际蒸散与潜在蒸散比值)和 $\beta$ (受地表特征的影响)的综合影响。



同时Jiang和Islam指出， $\phi$ 主要受地表特征的影响，比如土壤湿度、地表温度、地表反射率、归一化植被指数NDVI或者是这些地表特征参数的综合影响。在西北干旱半干旱地区，尤其是稀疏植被和裸土下垫面，土壤水分对蒸散的影响远大于植被。这时，表示蒸散能力的斜率 $\phi$ 就主要受土壤含水量的影响，由于植被对土壤含水量的变化存在一定的滞后效益，归一化植被指数NDVI不能及时地响应土壤水分变化情况，所以联合表征土壤含水量的指数与NDVI来表示 $\phi$ 的变化就会更加合理。





### 3.4. 特征空间法

NDVI-PDI特征空间的示意图如图2所示，

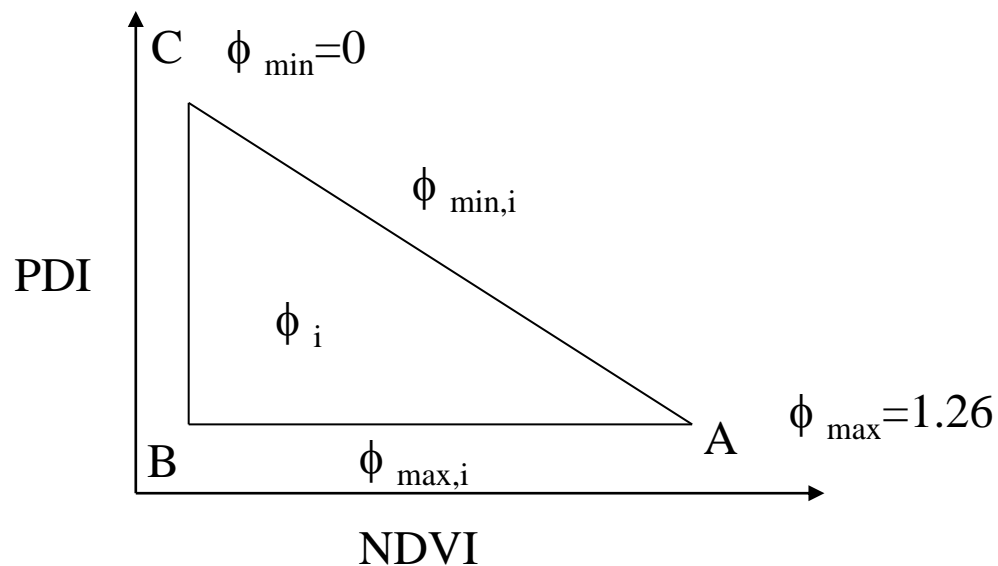


图2. NDVI-PDI 特征空间



在干边AC上:

$$\phi_{min,i} = 1.26NDVI (1 - PDI)$$

因此特征空间内任意点的斜率 $\phi_i$ 就由下式计算:

$$\phi_{min,i} = \frac{PDI_{max,i} - PDI_i}{PDI_{max,i} - PDI_{min,i}} (\phi_{max,i} - \phi_{min,i}) + \phi_{min,i}$$

$PDI_{max,i}$ 和 $PDI_{min,i}$ 即为干边和湿边上PDI的值, 即同一地表类型PDI的最大和最小值, 由特征空间的边界确定, 即可以表示为:

$$PDI_{max,i} = a_{max} + b_{max} \cdot NDVI$$

$$PDI_{min,i} = a_{min} + b_{min} \cdot NDVI$$

其中,  $a_{max}$ 、 $b_{max}$ 、 $a_{min}$ 、 $b_{min}$ 分别为干边和湿边的拟合系数。



# 4. 结果分析

## 4.1. PDI 计算波段的选择

表1 PDI指数与浅层土壤含水量的相关

波段组合	红光波段	近红外波段	短波红外1	短波红外2
红光波段		-0.14	-0.72*	-0.69*
近红外波段	-0.14		0.35	0.45
短波红外1	-0.72*	0.35		-0.64*
短波红外2	-0.69*	0.45	-0.64*	

\* 表示通过了 0.01 的显著性水平检验



# 4. 结果分析

## 4.1. PDI 计算波段的选择

表1 PDI指数与浅层土壤含水量的相关

波段组合	红光波段	近红外波段	短波红外1	短波红外2
红光波段		-0.14	<b>-0.72*</b>	-0.69*
近红外波段	-0.14		0.35	0.45
短波红外1	<b>-0.72*</b>	0.35		-0.64*
短波红外2	-0.69*	0.45	-0.64*	

\* 表示通过了 0.01 的显著性水平检验



## 4.2. 地表温度估算结果

单通道法估算的地表温度与实测地表温度的比较如图3所示。

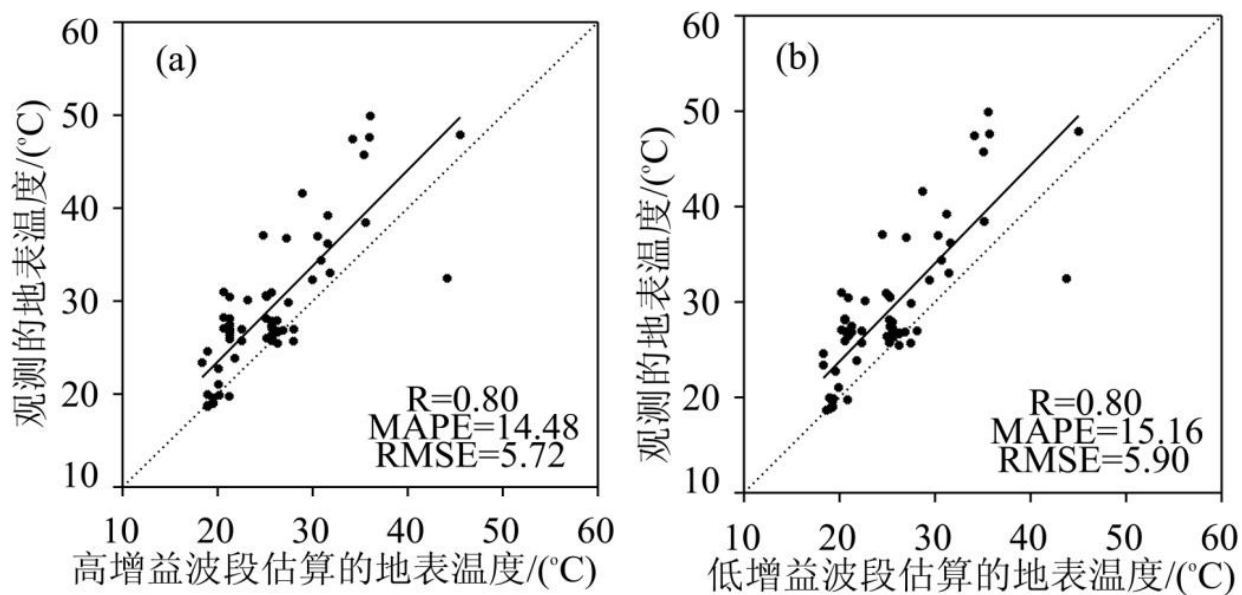


图3 地表温度估算值与实测值的比较

### 4.3. 蒸散估算结果

现在常用的特征空间法主要是由LST与NDVI构成，且大多数研究表明NDVI-LST征空间法估算的蒸散结果接近与实测值。但在AbduwasitGhulam等的研究中，通过对比NDVI-LST和NDVI-albedo两种特征空间估算蒸散的结果，指出NDVI-albedo征空间法估算的蒸散结果优于NDVI-LST的估算结果。所以本文将**NDVI-LST**和**NDVI-albedo**用于与**NDVI-PDI**征空间法进行对比分析。





2012年7月10日由NDVI, LST, albedo 及 PDI 组成的特征空间如图4所示

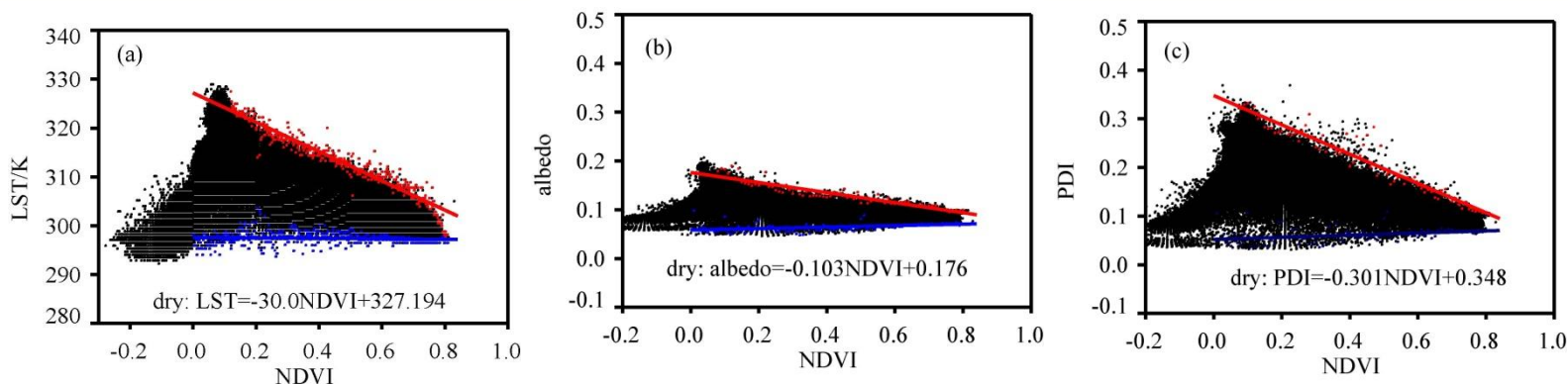
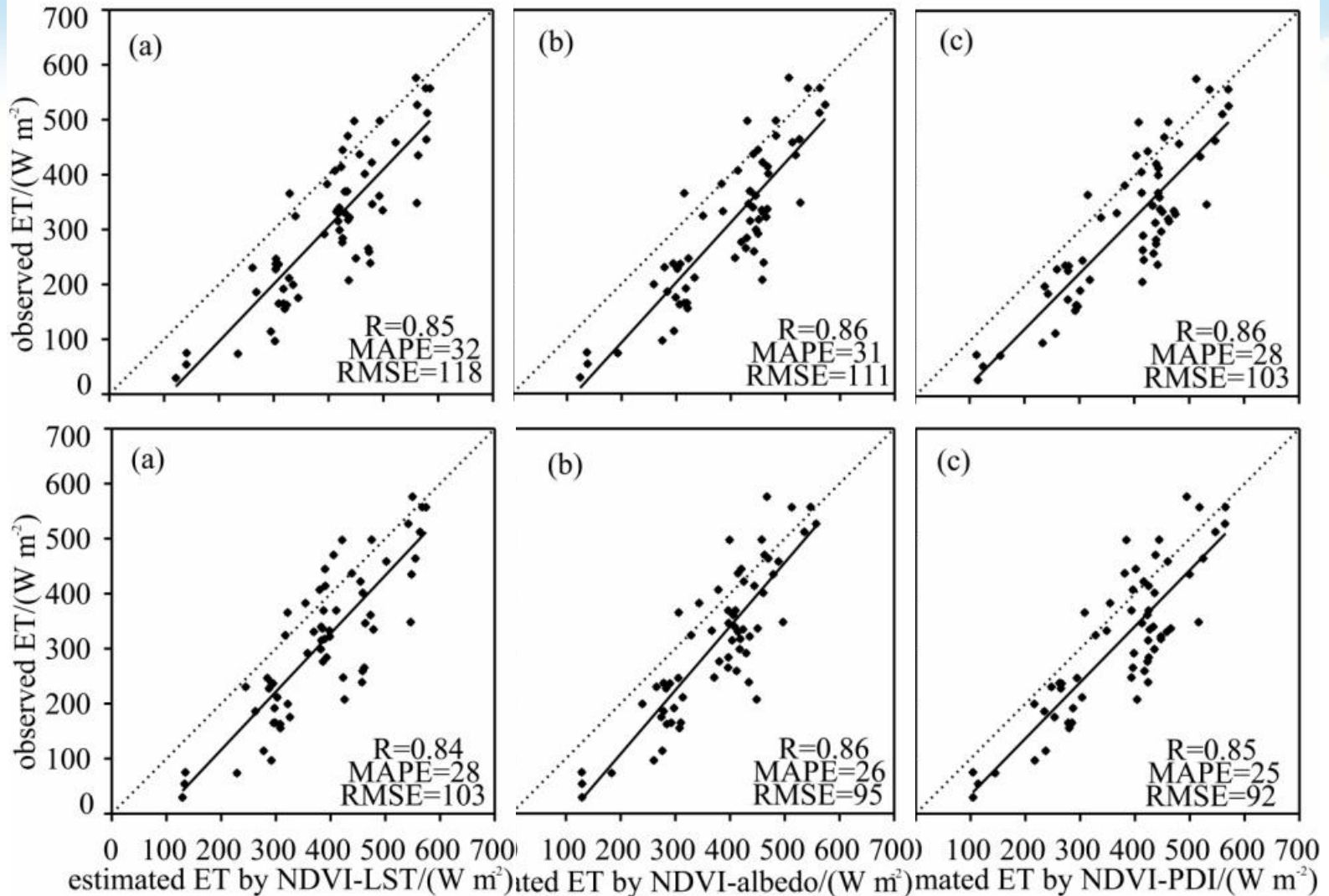


图4. NDVI-LST(a), NDVI-albedo(b) 及 NDVI-PDI(c) 特征空间

研究区的NDVI-LST、NDVI-albedo及NDVI-PDI的散点分布近似于三角形，湿边接近于常数，符合特征空间的分布，说明特征空间法在该地区是适用的。



$$\phi_{min,i} = 1.26NDVI$$



$$\phi_{min,i} = 1.26NDVI(1-PDI)$$



所以，在研究区利用PDI与NDVI构成特征空间反演地表蒸散是可行的，且NDVI-PDI特空间估算的结果优于NDVI-LST和NDVI-albedo的估算结果。在干边斜率表达式中引入PDI指数，可以提高特征空间法估算蒸散的精度。



三种特征空间法估算的黑河流域区域蒸散分布，如图7所示。

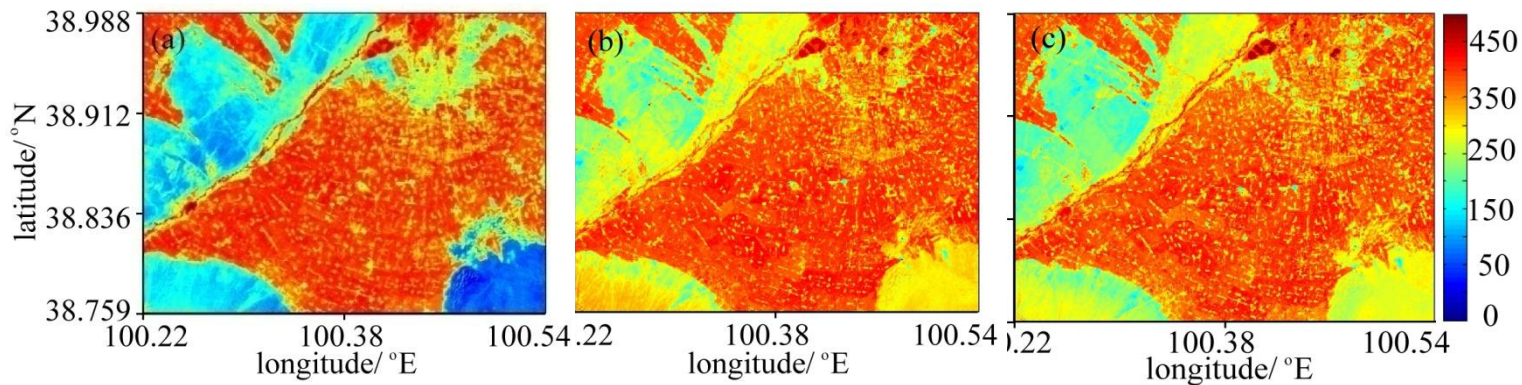


图7. 特征空间法估算的区域蒸散分布  
(NDVI-LST, (b) NDVI-albedo , (c) NDVI-PDI)



## 5. 结论

(1) 由Qin等提出的单窗法估算研究区地表温度结果与实测值之间的均方根误差不超过 $6.0^{\circ}\text{C}$ ，平均相对误差最小为14%，相关系数达到0.8，且第6波段高增益值更适合反演研究区的地表温度。

(2) 估算的净辐射大部分接近于实测值，平均相对误差为10%左右。PDI与NDVI构成特征空间估算的研究区蒸散在三种特征空间法中最接近实测值，平均相对误差分别为28%，均方根误差分别减小到 $103\text{W m}^{-2}$ 。





(3) 在特征空间干边表达式引入PDI可以提高特征空间法估算非均匀下垫面的蒸散结果精度，估算的蒸散平均相对误差分别减小了约3% ，均方根误差分别减小了约 $11\text{W m}^{-2}$ 和 $92\text{W m}^{-2}$ 。





*Thanks!*

*Welcome to comment!*



中国气象局兰州干旱气象研究所  
Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou

