

伍显,安裕伦,赵海兵,等. 基于 Landsat8 的地表温度与地形要素的关系研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(18):266-270,362.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.18.065

基于 Landsat8 的地表温度与地形要素的关系研究

伍显^{1,2}, 安裕伦^{1,2}, 赵海兵^{1,2}, 郝新朝^{1,2}, 夏林^{1,2}, 孙婷¹

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州贵阳 550001; 2. 贵州省山地资源与环境遥感应用重点实验室, 贵州贵阳 550001)

摘要:利用参数修正后的单窗口算法反演出地表温度,然后用地表温度跟土地利用、坡度以及坡向等数据进行叠加分析,得出温度与土地利用、坡度、坡向之间的相互关系。结果表明,在所分出的草地、堆掘地、耕地、林地、人造地表和水域的地类中,平均温度由大到小的顺序为堆掘地>人造地表>草地>耕地>林地>水域;同种地物随着坡度的增加平均温度呈下降趋势,并且人造地表下降的速率比自然地表大;对于北半球而言,同种地物从北坡到西北坡地表温度呈先升高后降低的趋势。

关键词:Landsat8;地表温度反演;土地利用;坡度;坡向

中图分类号:S127 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)18-0266-06

随着遥感数据的问世,传统的靠人为测量获取地表温度的方式已经逐渐退出历史舞台,因为其只能获取小范围的点数据并须要耗费大量的人力、物力、财力等;相比传统测量地表温度的方式,遥感数据具有大范围、全天候的特点,大大地缩短了获取地表温度的时间周期。由于地表温度容易受到很多易变因素的影响,比如天气、季节、地表覆盖类别的变化等,同种地物在不同的天气和季节条件下会有很大的差异,如果测量周期太长,很多地物会发生变化。目前,利用不同遥感数据反演地表温度的研究已经趋近于成熟,如针对 ASTER 的单窗算法和多通道算法^[1-2];针对 MODIS 的昼/夜算法、劈窗算法^[3-6]等;针对 TM 和 ETM 的温度反演而言有 Qin 等提出的单窗算法和单通道算法^[7-11]。胡德勇等前后利用单窗算法结合地表发射率、大气透过率等参数遥感估算方法针对 Landsat8 的第 10 波段对地表温度进行了反演并进行了反演精度验证^[12-13]。蒋大林等利用单通道算法进行了针对 Landsat8 第 10 波段的系数修改,得到了针对 Landsat8 的单窗口算法的公式^[14]。用获取的地表温度作为基础数据进行更深一层的研究也有很多,比如韦春竹等研究地表温度跟植被覆盖度的定量关系^[15],宋挺等利用地表温度反演的结果进行了城市热岛效应的相关研究^[16-19],韩贵锋等分析了地表温度与地形要素之间的响应关系^[20-21]。但是,从像素层面来分析温度与地类、坡向、坡度等之间的关系的尚显不足,本研究通过利用 Landsat8 影像的热红外波段(第 10 波段)、人机交互式解译的土地利用数据和 DEM(数字高程模型)数据进行分析,揭示地表温度与地类之间的定量关系、空间关系以及地表温度与地物类别、坡度、坡向之间的关系。随着我国城镇化进程逐渐加快,尤其进入 21 世纪以来,我国城镇化的规模

超过了之前的总和,由此引起的城市热岛效应也越来越严重,挖掘它们三者之间的关系可以为城市规划和研究城市热效应提供参考数据。

1 研究区概况

本研究的研究区域选择位于贵安新区的思雅河流域,地理位置 26°20′41.862″~26°25′10.849″N、106°34′13.533″~106°39′45.279″E。该流域通过 1:10 000 的地形图获取。它包含了贵州省为了推进贵州省高等教育实现跨越式发展而建立起来的大学城的绝大部分区域,包括贵州师范大学、贵州财经大学、贵州医科大学、贵州民族大学、贵州轻工业职业技术学院以及贵州城市职业学院等。整个区域也属于国家级新区—贵安新区的范围。区域的性质使得它的发展极为迅速。从图 1 和表 1 可以看出,人造地表大幅度增加,并且大都是从林地、耕地、草地变化而来,堆掘地占其中的一小部分,由于此区域的水域面积很小,所以水域完全没有变化。除此之外,思雅河流域之内新建的大学城的建筑相对比较密集,而且修建的时间不是很长,与流域内的许多分散的、修建时间较长的建筑形成对比;除水体之外,各自然地表的面积相差不是很大,这有利于地表平均温度的分析。

2 研究数据和研究方法

2.1 研究数据

本研究的研究数据包括用于地表温度反演的 Landsat8 的热红外(第 10 波段)遥感数据、通过人机交互式解译方法解译的土地利用矢量数据以及用于生成坡度和坡向的 30 m 空间分辨率的 DEM 数据。其中热红外遥感数据的原始分辨率为 100 m,一级产品经过重采样之后的分辨率为 30 m,正好与 30 m DEM 数据生成的坡度和坡向数据做叠加分析。其中土地利用分类按照第一次地理国情普查的标准进行分类。

2.2 研究方法

首先利用 Landsat8 的第 10 波段进行温度反演,将温度反演的栅格结果转化为 30×30 的矢量单元格,让每个单元格存储地表温度值;然后将这个结果跟土地利用的矢量数据进行

收稿日期:2017-12-05

基金项目:贵州省科学技术厅项目(编号:黔科合计 Z 字[2015]4007 号、黔科合计省合[2012]7005 号)。

作者简介:伍显(1992—),男,贵州铜仁人,硕士研究生,研究方向为地理信息系统与遥感应用。E-mail:516617158@qq.com。

通信作者:安裕伦,硕士,教授,主要研究方向为自然地理学、GIS 环境遥感。E-mail:anyulun@126.com。

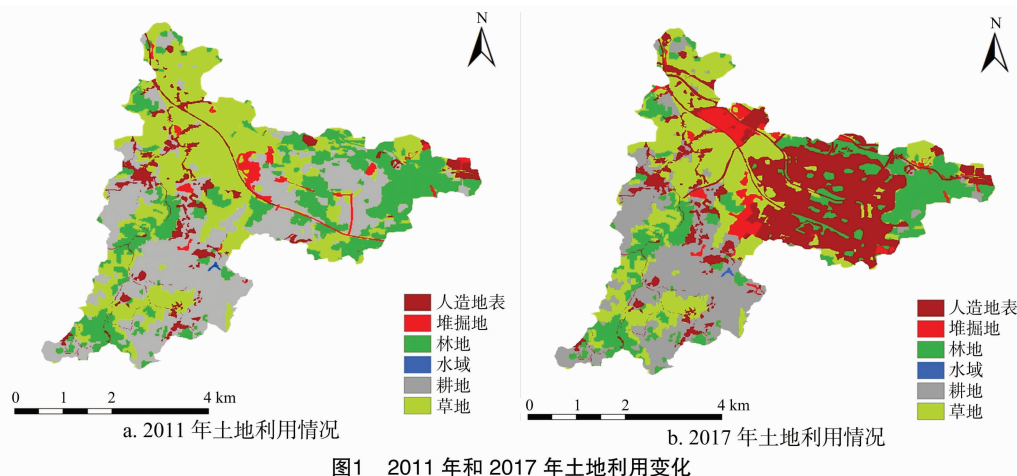


图1 2011 年和 2017 年土地利用变化

表 1 2011—2017 年思雅河流域土地利用转移矩阵

地类	2011—2017 年土地转移面积(m ²)						总计
	草地	堆掘地	耕地	林地	人造地表	水域	
草地	7 049 862.20	799 370.38	0	211 018.85	1 589 079.88	0	9 649 331.21
堆掘地	125 564.30	170 477.83	0	8 306.06	464 791.49	0	769 139.67
耕地	122 069.91	116 063.26	6 648 151.70	239 500.00	2 798 286.18	0	9 924 070.97
林地	62 748.02	89 874.24	108.74	5 142 650.00	1 494 638.31	0	6 790 020.21
人造地表	0	31 335.70	0	0	1 914 773.06	0	1 946 108.76
水域	0	0	0	0	0	19 211.43	19 211.43
总计	7 360 245.29	1 207 121.31	6 648 260.40	5 601 474.90	8 261 568.91	19 211.43	29 097 882.24

注:此分类参照全国第一次国情普查的一级标准进行分类。草地包括人工和自然的各类草地以及小灌木混合草地;人造地表包括房屋建筑、道路以及人造的各类构筑物;耕地包括水田和旱地以及种植非粮食作物的耕地;堆掘地包括采掘场和堆放物以及建筑工地;水域包括所有水体覆盖的表面;林地包括自然的、人工的各类林地以及大灌木林地和果园、茶园、桑园、花圃以及其他各类园地。

融合,使得每个单元格同时有温度和地类 2 个数据;最后对所得的数据进行统计,可以得出地类、温度、各类面积之间的关系。利用 30 m DEM 数据求出坡度和坡向,然后将坡度和坡

向转化成 30 × 30 的矢量数据,让每个矢量单元分别存储坡度和坡向数据,将其与温度数据叠加,最后统计温度与地类、坡度、坡向的关系(图 2)。

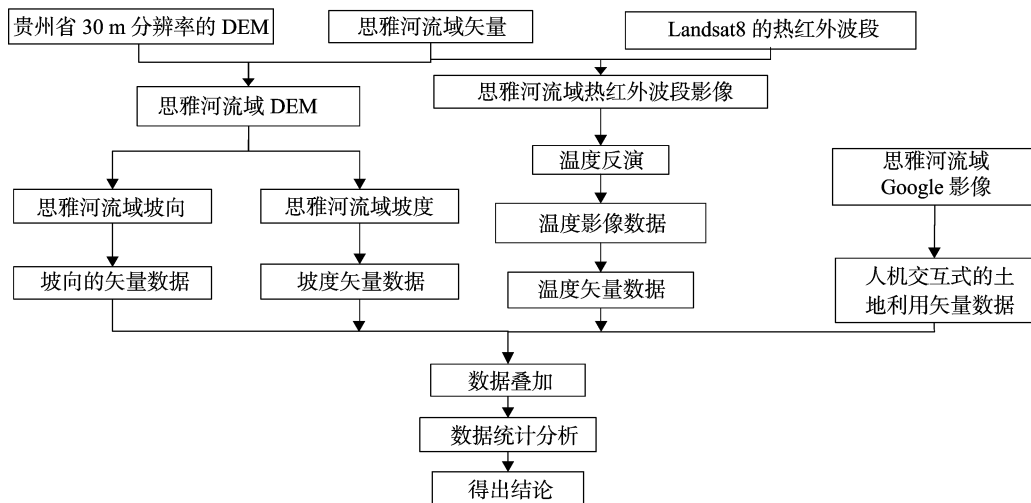


图2 本研究技术流程

2.3 温度反演

目前针对各种不同影像数据的波段设置,学者们提出了不同的温度反演算法,因为单窗口算法只是针对 Landsat TM/ETM+ 提出的,而 Landsat8 的热红外波段(第 10 波段:10.6 ~ 11.19 μm,第 11 波段:11.5 ~ 12.50 μm)的设置跟 LandsatTM/ETM+ 不一致,所以不能直接使用单窗口的算法,另外又因为 Landsat8 的第 11 波段存在很大的不稳定性,所以

单独使用第 10 波段进行温度反演。基于此,蒋大林等对单窗口算法的参数进行了修正,得出了专门针对 Landsat8 的第 10 波段温度反演的单窗口算法的公式^[14]。

$$T_s = \{a(1 - C - D) + [b(1 - C - D) + C + D]T_{10} - DT_a\} / C.$$
 (1)
式中: $C = \varepsilon T$, $D = (1 - \tau)[1 + (1 - \varepsilon)\tau]$, ε 为地表发射率, τ 为大气透射率, T_{10} 为 Band10 的星上亮度, T_a 为大气平均作用温度, a 和 b 分别为修正后的系数,当温度在 0 ~ 50 °C (273 ~

323 K) 范围内时, a 、 b 的值分别为 62.735 657、0.434 036; 当温度在 0 ~ 70 °C (273 ~ 343 K) 范围内时, a 、 b 的值分别为 -66.279 546、0.446 139。

大气透射率 τ 的确定: 运用 MODTRAN 大气模拟程序针对 Landsat8 第 10 波范围, 对大气水汽含量在 0.4 ~ 6.0 g/cm² 范围内的大气透射率进行模拟, 得到了大气透射率与水汽含量之间的关系式, 然后对其进行多项式拟合, 得到式(2)。

$$\tau = P_1\omega_3 + P_2\omega_2 + P_3\omega_3 + P_4。 \tag{2}$$

式中: ω 表示大气的水汽含量, 单位为 g/cm², 可通过杨景梅等提出的经验模型由地面水气压估算得到^[22], P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 为系数, 其值分别为 0.003 746 415、-0.039 887 29、-0.005 006 28、0.947 512。

Band10 的星上亮温可由影像的原始数据计算得到, 用式(3)将原始的 DN 值定标为辐射亮度值。

$$L_A = M_L Q_{cal} + A_L。 \tag{3}$$

式中: L_A 为卫星所在高度处传感器所接收到的热辐射值, W/(m² · sr · μm), M_L 和 A_L 可从影像的头文件中获取。 Q_{cal} 为影像的 DN 值。 计算出热辐射值之后, 再由式(4)将热辐射值转化为星上亮度。

$$T_{10} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_A} + 1\right)}。 \tag{4}$$

式中: T_{10} 为星上温度; K_1 、 K_2 为系数, 可从影像的头文件中读取, 分别为 774.885 3、1 321.078 9。

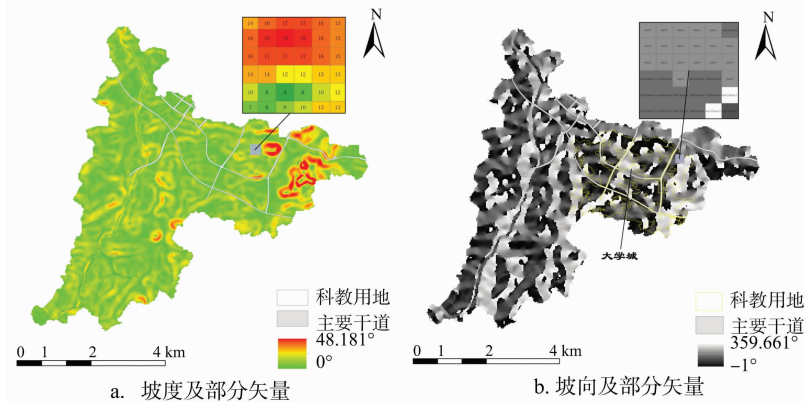


图3 坡度和坡向

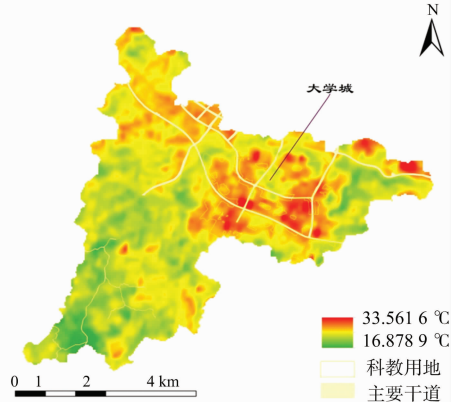


图4 2017 年 4 月 1 日思雅河流域温度

3.2 温度与地类之间的关系

地表不同的地物具有不一样的纹理、不同的热惯量、不同的形状等, 导致了不同地物接收、反射和蓄热的能力也有很大的差别。具体关系如表 2 所示。

表 2 温度与地类之间的关系

地类	最小值(℃)	最大值(℃)	平均值(℃)	标准差
草地	17.55	30.94	22.42	1.56
堆掘地	19.86	26.08	23.52	1.10
耕地	17.28	26.34	21.76	1.11
林地	16.88	26.83	21.31	1.71
人造地表	17.53	33.56	23.27	1.80
水域	19.18	20.74	19.87	0.48

从表 2 可以看出, 不同地类之间的平均温度由大到小顺序为堆掘地(23.52 °C) > 人造地表(23.27 °C) > 草地

发射率的确定: 基于覃志豪等提出的混合像元地表发射率的估算方法^[23] 估算出了第 10 波段范围内水体、植被、耕地和人造地物的发射率, 其值分别为水体 0.991、植被 0.982、耕地 0.971、人造地表 0.967。

大气平均温度的确定: 根据覃志豪等的由地面气温 T_0 近似计算大气平均作用温度的方法^[23] 为

$$T_a = 19.270 4 + 0.911 18 T_0。 \tag{5}$$

2.4 坡度、坡向图

利用贵州省的 DEM 裁剪出思雅河流域的 DEM, 进而得到坡度和坡向图, 然后分别将坡度和坡向图按照 30 × 30 的网格进行矢量化, 如图 3 所示。

3 结果与分析

3.1 温度反演结果与分析

通过“2.3”节所得出的单窗口算法的式(1)和其他修正参数以及从中国气象数据共享服务网查询到卫星过境当天的贵阳市的平均水气压和当天的平均气温, 分别计算出大气的透射率和大气平均作用温度, 分别为 0.90 和 28.837 79 °C, 最后得出了思雅河流域的温度图(图 4)。

从温度反演的图 4 可以看出, 跟其他地方相比, 新建的大学城区域的温度明显要高出很多, 产生了一个相对的“热岛”。造成这一结果的原因是人造地表和堆掘地的热惯量要比林地、草地和耕地小, 以致蓄热的能力比其他地物弱, 对温度的敏感性比较强, 很容易受到环境温度的影响。

(22.42 °C) > 耕地(21.76 °C) > 林地(21.31 °C) > 水域(19.87 °C)。堆掘地的平均温度比人造地表高, 但是地物的最高温度却是在人造地表, 而且人造地表的最低温度比堆掘地和草地的低, 造成这个现象的原因是思雅河流域内的人造地表里大多数的房屋、道路等已经建成多年, 在这些房屋和道路的表面会有很多的“非人造地表”元素, 而堆掘地基本都是新开挖的、还没修建的地表, 这一点可以从温度图上看出来。由此可以看出, 人类对地表的开发程度跟地表温度是成正比。

3.3 温度、地类、坡度之间的关系

不同的坡度会影响太阳辐射的入射角和反射率, 所以在地物相同而坡度不同的情况下地表地物的温度会有明显的差别。对于不同的地类而言, 地表地物的温度随着坡度的变化也各不相同。下列图中趋势线的斜率表示了各地物温度受到坡度影响的程度关系。从图 5 至图 9 可以清楚地看出, 随着

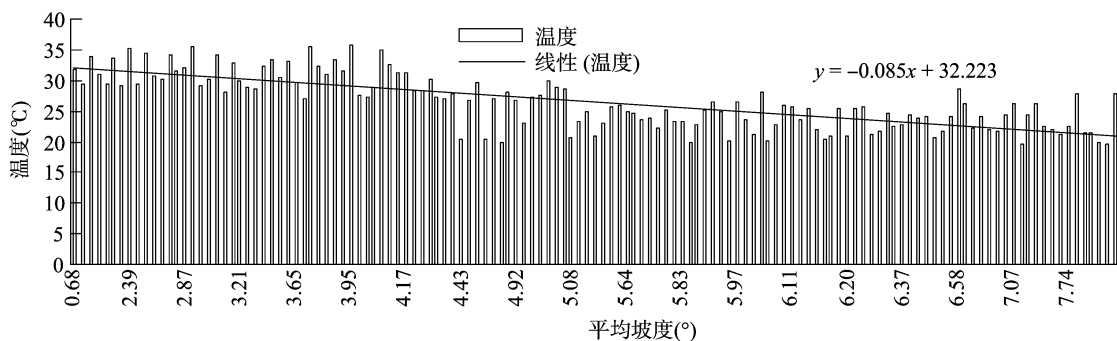


图5 温度与人工地表坡度关系

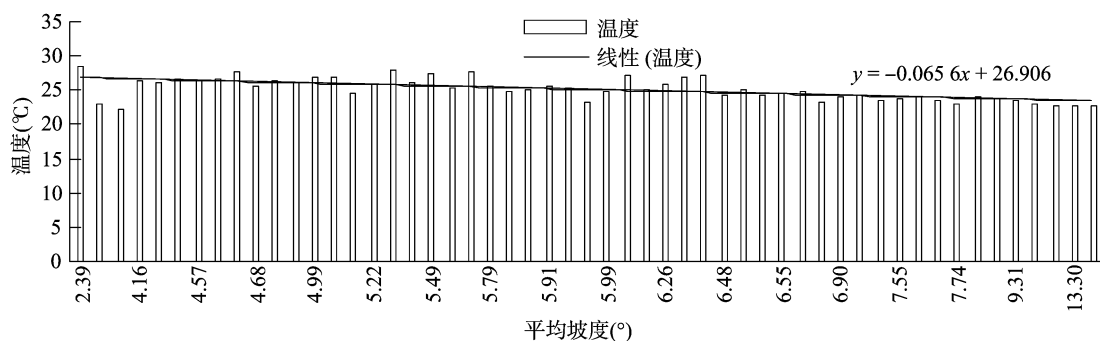


图6 温度与堆掘地坡度关系

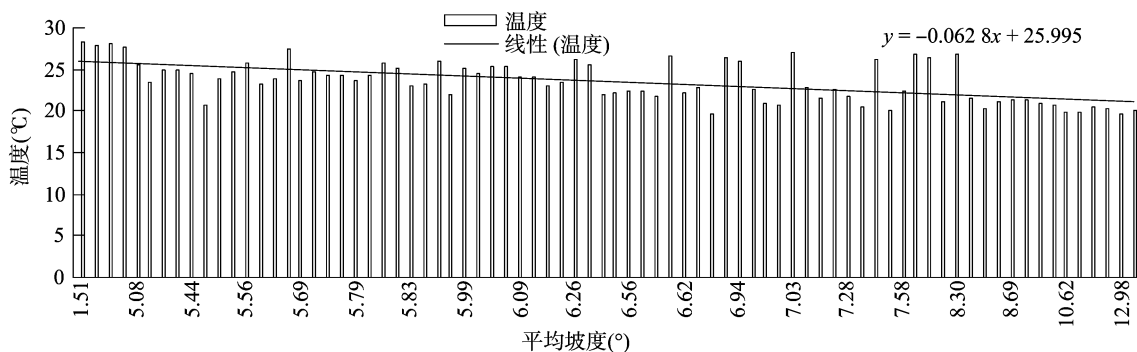


图7 温度与耕地坡度关系

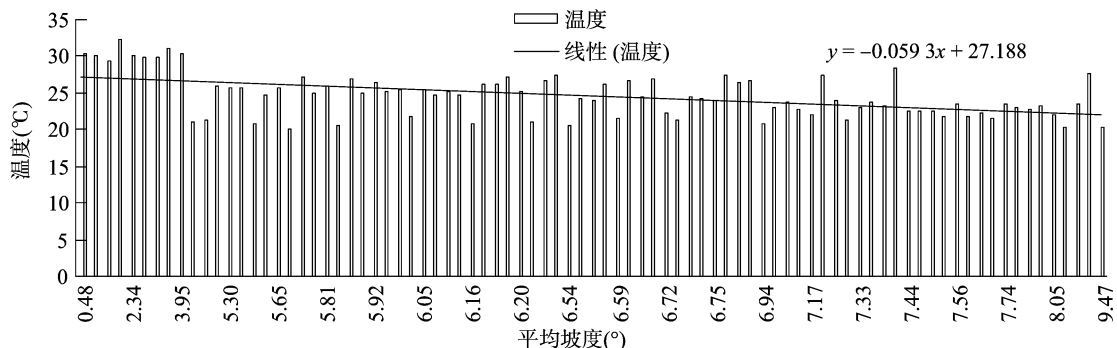


图8 温度与草地坡度关系

坡度的增加,各地物的平均温度逐渐减低,除此之外各地物受坡度影响由大到小依次为人造地表 (-0.085) > 堆掘地 (-0.0656) > 耕地 (-0.0628) > 草地 (-0.0593) > 林地 (-0.0208)。由于本研究区的水域面积很小,不能体现随坡度变化的关系,故对水域不做分析。

3.4 地表温度与地类坡向相互之间的关系

坡度的划分通常为东 ($67.5^\circ \sim <112.5^\circ$)、东南 ($112.5^\circ \sim$

$<157.5^\circ$)、南 ($157.5^\circ \sim <202.5^\circ$)、西南 ($202.5^\circ \sim <247.5^\circ$)、西 ($247.5^\circ \sim <292.5^\circ$)、西北 ($292.5^\circ \sim <337.5^\circ$)、北 ($0^\circ \sim <22.5^\circ$)、 $337.5^\circ \sim <360^\circ$)、东北 ($22.5^\circ \sim <67.5^\circ$)。由于坡面的朝向会影响地表接受太阳辐射的时间和太阳辐射的入射角度,因此地表地物的温度会受到坡向的影响。对于北半球来讲,朝南面的坡称为阳坡,朝向北面的坡为阴坡,朝向东面的称为半阳坡,朝向西面的坡称为半阴

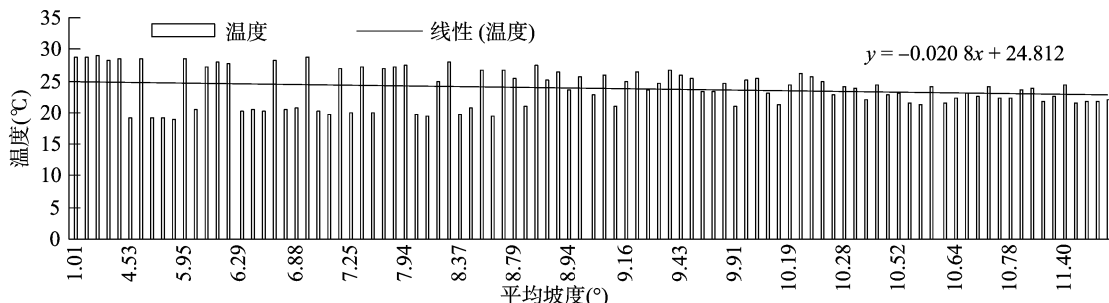


图9 温度与林地和坡度的关系

坡。但是本研究所研究的区域成像时的太阳高度角为 $128.934\ 561\ 41^\circ$, 相较于南坡而言, 在这个高度角下的太阳光线要偏向东南坡一些。所以堆掘地、人造地表以及草地的平均最高温度都出现在东南坡, 而对于耕地而言其最高温出现在东坡, 这应该是与耕地所种植的农作物种类有关。至于林地的最高温出现在南坡应该是跟植被类型有关。总体而言从北坡到西北坡总体上呈现了先升高后降低的趋势(图 10)。虽然坡向对温度产生了影响, 但是温差不是很大, 这是因为本研究所选的研究区的最高平均坡度只有 14° , 所以坡度对地表温度的影响不是很明显。另外水域在本研究区所占的面积很小, 导致在有的坡向上没有水体, 所以忽略水体值。

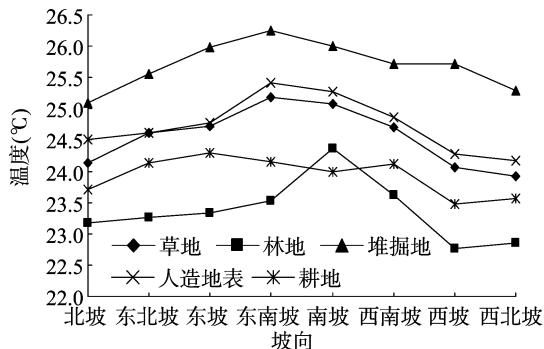


图10 温度与坡向、地类的关系

4 结果

本研究利用 Landsat8 的第 10 波段作为地表温度反演的源数据, 得到了思雅河流域的地表温度图, 加上土地利用数据和 DEM 派生的坡度和坡向数据, 通过叠加分析得出了以下结论: (1) 将温度图和土地利用图叠加可以发现, 在相同的条件下地物的平均温度由大到小的顺序为堆掘地 ($23.52\ ^\circ\text{C}$) > 人造地表 ($23.27\ ^\circ\text{C}$) > 草地 ($22.42\ ^\circ\text{C}$) > 耕地 ($21.76\ ^\circ\text{C}$) > 林地 ($21.31\ ^\circ\text{C}$) > 水域 ($19.87\ ^\circ\text{C}$), 总体上呈现为人造地表的地表平均温度比自然地表温度高。(2) 坡度通过影响太阳辐射的角度对地物温度产生影响。对于同种地物而言, 随着温度的升高, 地物的温度会呈现下降的趋势, 而且不同地物的下降趋势不一样, 人造地表的下降趋势会比自然地表要快。具体表现为人造地表 (-0.085) > 堆掘地 ($-0.065\ 6$) > 耕地 ($-0.062\ 8$) > 草地 ($-0.059\ 3$) > 林地 ($-0.020\ 8$)。(3) 坡向通过影响太阳辐射的时间影响地物的温度, 对于北半球而言, 从北坡到西北坡地物的温度呈现了先增加后减少的整体趋势。对于本研究而言, 每一种地物的平均最高温都出现在东南坡向上, 这是因为本研究影像获取时的太阳高度角为

$128.934\ 561\ 41^\circ$, 相较于南坡太阳的辐射更偏向东南一些, 所以东南坡地物的温度比南坡的高。

5 不足与展望

本研究虽然对各地性因素对温度的影响进行了较为详细的分析, 但是缺乏从时间的角度对不同地物与温度之间的响应关系的研究, 比如不同季节、相同季节的不同天气状况对地表温度都会产生很大的影响。另外, 大学城相较于其他地方有一个很明显的特点, 大学城在上课的期间人口数量和放假期间的人口数量会有很大的差距, 人口数量因素会不会影响地表的温度还有待研究。将来将进一步从不同时间角度和人文因素角度对地表温度进行分析。

参考文献:

- [1] 毛克彪, 唐华俊, 陈仲新, 等. 一个从 ASTER 数据中反演地表温度的劈窗算法[J]. 遥感信息, 2006(5): 7-11.
- [2] 孙静, 赵萍, 叶琦. 一种 ASTER 数据地表温度反演的劈窗算法[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 728-734.
- [3] 丁莉东, 覃志豪, 毛克彪. 基于 MODIS 影像数据的劈窗算法研究及其参数确定[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(2): 284-289.
- [4] 毛克彪, 覃志豪, 施建成, 等. 针对 MODIS 影像的劈窗算法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(8): 703-707.
- [5] Wan Z, Li Z L. A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 1997, 35(4): 980-996.
- [6] Qin Z. A practical split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from MODIS data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(15): 3181-3204.
- [7] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 22(18): 3719-3746.
- [8] 覃志豪, Zhang M H, Karnieli A, 等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.
- [9] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2003, 108(D22): 2015-2023.
- [10] Jimenezmunoz J C, Cristobal J, Sobrino J A, et al. Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2009, 47(1): 339-349.

(下转第 362 页)

溯体系的权威性和公信力。政府监管部门应当发挥政府职能优势,出台有实践意义的法律法规,提高农产品追溯体系的有效性。由于产品种类和生产过程不同,建议根据产品的生产特性制定不同产品类别的追溯要求。但是要对追溯体系中不同监管部门的衡量标准进行协调修订,形成统一的可追溯标准,做到统一管理的同时保障公信力。第三,提供资金、技术扶持,提高企业实施积极性。综上分析可知,追溯体系建设的绩效和政府的补贴费用相关性较强。加之在建立农产品质量安全可追溯体系的初期,企业资金压力较大,为了提高追溯体系的建设绩效,相关政府部门可以提供相应的倾斜扶持来提高企业积极性。

因此,在农产品质量安全可追溯体系推广实施过程中,政府可以通过减免税收、财政补贴、先进奖励等资金扶持形式对立项建立农产品质量安全可追溯体系的企业提供经济支持,鼓励、推动企业积极建立实施食品质量安全可追溯体系。

针对农产品生产者提出以下建议:第一,调整企业规模,优化资源配置。综上分析可知,农产品生产经营企业的经营类型在一定程度上影响企业追溯体系的绩效水平。追溯主体要按实际情况调整企业经营规模,合理分配追溯体系软硬件设施费用、人力资源费用等资源投入,提高资源利用率,加强管理绩效,不能盲目扩大规模和投入。第二,严格规范农产品生产者的生产行为。消费者最关注的农产品质量安全问题还是农药使用情况及农业投入品生产经营环节。重点打击在农药中非法添加隐性成分和非法生产、销售甲胺磷等禁限用农药,在肥料中非法添加植物生长调节剂,在兽药中擅自改变组方、违规添加禁用药物,在饲料中添加禁用物质等违法违规行为。加强农药经营市场管理,全面落实农药经营许可制度,严厉打击违法经营行为。第三,提高农产品参与可追溯体系的意识。目前浙江省大部分规模性的农产品生产单位已经参与到农产品质量安全体系的建设中。但是由问卷反映出的一个突出的问题就是追溯主体在思想上较认可追溯体系的建设,但是在行动上缺乏积极性。

在农产品生产单位入驻追溯平台的基础上,还要进一步扩大可追溯主体的范围,并对已经实现可追溯的企业进行教育培

训,提高企业对实施可追溯的接纳度和积极性,让农产品生产单位真正明白追溯体系的意义。进而严格要求自己落实农产品追溯工作,保证可追溯产品信息的真实性、完整性和及时性。

参考文献:

- [1]曹海禄,焦 炜,黄 璟,等. 国内外农产品质量安全追溯体系建设概述[J]. 中国现代中药,2013,15(3):233-237.
- [2]陈 松. 中国农产品质量安全追溯管理模式研究[D]. 北京:中国农业科学院,2013.
- [3]Golan E, Krissoff B., Kuchler F, et al. Traceability in the US food supply: dead end or superhighway choices[J]. Choices, 2003, 18(2):17-20.
- [4]钱建平,杨信廷,吉增涛,等. 农产品追溯系统的追溯粒度评价模型构建及应用[J]. 系统工程理论与实践,2015,35(11):2950-2956.
- [5]李佳洁,王 宁,夏 慧,等. 基于 FAHP 法的共享式食品追溯系统实施效力评价体系构建[J]. 生态经济,2013(9):132-136,140.
- [6]刘丽欣,张 健,张小栓. 肉类食品安全追溯系统中的模糊评价方法研究[J]. 食品科学,2008,29(3):490-493.
- [7]赵智晶,吴秀敏,谢 筱. 食用农产品企业建立可追溯制度绩效评价——以四川省为例[J]. 四川农业大学学报,2012,30(1):114-120.
- [8]王 蕾,王 锋. 农产品质量安全可追溯系统有效实施的经济分析:一个概念框架[J]. 软科学,2009,23(7):109-113.
- [9]罗庆华. 基于 DEA 的供应链绩效评价体系研究[D]. 广州:暨南大学,2007.
- [10]张启平. 面向领域的数据包络分析(DEA)方法研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2012.
- [11]智江红. 基于 DEA 的企业绩效评价[D]. 太原:山西大学,2015.
- [12]杨 玲. 中国农产品质量安全追溯体系建设现状与发展对策[J]. 世界农业,2012(8):105-107.
- [13]陈丽琳,喻法金. 我国农产品质量安全可追溯体系建设现状探析[J]. 农产品质量与安全,2012(4):62-65.
- [14]俞 磊. 基于网络 DEA 的食品质量链绩效评价研究[D]. 南京:南京财经大学,2015.
- [15]谢元礼,范熙伟,韩 涛,等. 基于 TM 影像的兰州市地表温度反演及城市热岛效应分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(9):172-175.
- [16]李柏延,任志远,李瑞宗,等. 西安市地表温度反演及城市热岛强度量化研究[J]. 资源科学,2014,36(12):2631-2636.
- [17]赵海兵,安裕伦. 六盘水市温度反演及结果探讨[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2011,29(1):18-20.
- [18]韩贵锋,叶 林,孙忠伟. 山地城市坡向对地表温度的影响——以重庆市主城区为例[J]. 生态学报,2014,34(14):4017-4024.
- [19]赵 伟,李爱农,张正健,等. 基于 Landsat8 热红外遥感数据的山地地表温度地形效应研究[J]. 遥感技术与应用,2016,31(1):63-73.
- [20]杨景梅,邱金桓. 用地面湿度参量计算我国整层大气可降水量及有效水汽含量方法的研究[J]. 大气科学,2002,26(1):9-22.
- [21]覃志豪, Li W J, Zhang M H, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感,2003,15(2):37-43.
- [22]Sobrinho J A, Jiménez - Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5[J]. Remote sensing of Environment, 2004, 90(4):434-440.
- [23]胡德勇,乔 琨,王兴玲,等. 单窗算法结合 Landsat8 热红外数据反演地表温度[J]. 遥感学报,2015,19(6):964-976.
- [24]胡德勇,乔 琨,王兴玲,等. 利用单窗算法反演 Landsat 8 TIRS 数据地表温度[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2017,42(7):869-876.
- [25]蒋大林,匡鸿海,曹晓峰,等. 基于 Landsat8 的地表温度反演算法研究——以滇池流域为例[J]. 遥感技术与应用,2015,30(3):448-454.
- [26]韦春竹,孟庆岩,郑文锋,等. 广州市地表温度反演与土地利用覆盖变化关系研究[J]. 遥感技术与应用,2013,28(6):955-963.
- [27]宋 挺,段 峥,刘志军,等. 基于 Landsat-8 数据和劈窗算法的地表温度反演及城市热岛效应研究[J]. 环境监控与预警,2014(5):4-14.

(上接第270页)