

砂田抑制蒸发功能随覆砂年限的演变规律

李王成^{1,2,3}, 王帅^{1*}, 王兴旺⁴

(1. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 银川 750021; 2. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 银川 750021; 3. 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021; 4. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100000)

摘要:【目的】研究压砂覆盖(砂田)保温及抑制蒸发功能随砂田退化程度的演变规律。【方法】基于多年 Landsat 卫星数据,使用辐射传输方程法反演香山地区砂田地表温度(LST),结合田间地表温度监测,对比砂田与裸地的地表温度变化,分析了砂田抑制土壤蒸发的机理,并探讨了砂田的功效与砂田使用年限的关系。【结果】砂田在 LST-NDVI 梯形空间中贴近于暖边,其土壤水分比耕地少,接近于干土层。因此,砂田可以隔离辐射与土壤表层,从而减小潜热通量,抑制土壤蒸发。砂田昼夜温差明显比裸地大,且对于西瓜等作物,砂田的有效地表积温也比裸地提高了 10%。【结论】砂田退化过程可分为纯砾石阶段、砂土混合阶段和砂土连通阶段,从砂田的保温及抑制蒸发功能来看,砂田的有效使用年限为 25~30 a。

关键词:压砂覆盖; 温度反演; 砂田退化; 抑制蒸发

中图分类号:S151⁺.3

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20180542

李王成,王帅,王兴旺. 砂田抑制蒸发功能随覆砂年限的演变规律[J]. 灌溉排水学报,2019,38(3):83-89.

0 引言

压砂覆盖作为西北干旱区独特的耕种模式,对土壤有增渗、保墒、增温、压碱等作用。特别是增温作用使砂田土壤昼夜温差加大,积温升高,提高了作物的产量和品质;而抑制蒸发可以减少土壤表层水分丧失,减少土壤中的上升毛管水,达到压盐的功效,可有效解决干旱地区降雨少、蒸发强、土壤表层盐分聚集、不利于作物生长的环境问题^[1-4]。

压砂覆盖在宁夏得到了大面积推广,然而,由于耕作和气候原因,随着砂田使用年限的增加,砂土逐渐混合,砂田的功效在逐渐减弱。一般从经验上认为种植年限不足 15 a 的为新砂田,25~30 a 为中砂田,40 a 以上为老砂田,砂田的功效强弱为新砂田>中砂田>老砂田^[5-7],砂田的作用随着砂田退化逐渐降低。王永忠等^[8]通过田间试验,发现种植 17 a 的砂田各层土壤含水率比新砂田下降 7%~10%,有机质量降低 27.2%;许强等^[9]采用典型区调查和室内测定分析方法,对不同年限砂土土壤各种指标进行测定,结果也表明种植 17 a 的砂田的土壤含水率、有机质量、含氮量和速效钾量都比新砂田低;赵文举等^[7]采用野外大田试验,发现土壤平均含水率为新砂田>中砂田>老砂田>裸地;胡景田等^[10]通过采样测定,发现随着砂田使用年限的增加,土壤中的微生物总数在不断减少。这些学者针对砂田的退化问题进行了大量的田间试验研究,分析了砂田退化对其功效的影响,但由于试验大多是针对田间的研究,其时间和空间上都有很大的局限性,目前缺乏从区域尺度上进行砂田退化的过程的研究。

地表温度(LST)是砂田增温保墒功效的重要体现,也是影响土壤蒸发的重要条件,砂田地表温度可以定性指示其功效强弱。遥感技术为分析区域地表温度变化提供了数据和理论支撑^[11-13],国内外学者针对不同的

收稿日期:2018-10-09

基金项目:国家自然科学基金项目(51169021,51569022)

作者简介:李王成(1974-),副教授,主要从事节水灌溉技术与理论、农业水资源高效利用研究。E-mail: liwangcheng@126.com

通信作者:王帅(1992-),硕士研究生,主要从事水资源高效利用研究。E-mail: 214544015@qq.com

遥感数据提出了大量成熟的反演地表温度的算法^[14-17],然而目前利用遥感反演在区域尺度上对砂田性质的研究较少。候静等^[18]对宁夏砂田地区基于遥感反演地表温度,分析了地表热场景观格局变化,对砂田高温斑块进行了对比,但未能进一步研究砂田性质的变化。兹基于 Landsat 系列卫星数据反演地表温度,讨论反演算法其在砂田地区的适用性,并通过对不同使用年限砂田区域的识别与提取,得到 *LST* 与 *NDVI* 的空间分布,分析砂田的抑制蒸发和增温作用,研究砂田功效与砂田退化的关系,以期干旱区压砂覆盖种植模式的生态环境研究提供一定指导和帮助。

1 材料与方方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏回族自治区环香山地区,是宁夏中部干旱带核心干旱区,地理位置 37°0'17"N, 105°5'23"E, 平均海拔约 1 700 m, 总面积 859 km²; 平均年降水量在 200 mm 以下, 年蒸发量在 2 300 mm 以上^[19], 干旱少雨, 生态系统脆弱。该区光照资源丰富, 昼夜温差大, 年平均温度 7 °C 左右, 大于 10 °C 的积温约为 2 300 °C, 年日照时间在 2 800 h 以上, 是生产高品质西瓜的重要条件。自 2003 年以来, 在政府的大力支持下, 压砂地面积逐年增加, 约 6.7 × 10⁴ hm², 占全部耕地面积的 62%, 目前已成为全国最大的压砂瓜产区。

1.2 遥感数据

选用 1991—2016 年中同一时段的 6 景 Landsat 遥感影像(数据来源于美国地质调查局: <https://glovis.usgs.gov/>), 其中包含 5 景 Landsat 5 卫星数据(日期分别为 19910821、19960802、20020803、20070801、20110812), 和一景 Landsat 8 卫星数据(20160809)。分别对每景数据进行辐射定标和大气校正, 得到真实地表反射率结果, 并通过辐射传输方法反演得到研究区地表温度。

1.3 地表温度反演

采用辐射传输方程法(Radiative Transfer Equation)对研究区地表温度进行反演。该方法使用大气数据估算出大气对地表热辐射的影响, 通过卫星接收到的辐射亮度减去大气的影, 反算出地表的热辐射强度, 从而根据普朗克方程来反演地表温度^[20]。该方法需要已知 4 个参数: 地表比辐射率、大气透过率、大气上行辐射和下行辐射。卫星观测的热辐射强度计算式为:

$$I = [\varepsilon B(T_s) + (1 - \varepsilon)I^{\downarrow}] \tau + I^{\uparrow}, \quad (1)$$

式中: I 是热辐射强度; $B(T_s)$ 是黑体辐射强度, T_s 表示地表的温度(K); ε 为地表比辐射率; τ 为大气透射率; I^{\downarrow} 和 I^{\uparrow} 表示大气下行辐射强度和上行辐射强度。

求得地表热辐射强度后, 计算地表真实温度, 其计算式为:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln(1 + \frac{K_1}{B(T_s)})}, \quad (2)$$

式中: K_1 、 K_2 为定标常数, 对于 Landsat 5 的 TM 数据, $K_1 = 607.76 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2 = 1\ 260.56 \text{ K}$, 对于 Landsat 8 TIRS 的第 10 波段数据, $K_1 = 774.885\ 3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2 = 1\ 321.078\ 9 \text{ K}$ 。

1.4 *LST-NDVI* 空间分布

土壤蒸发是土壤中能量以潜热形式释放到大气中的过程, 土壤蒸发与地表温度和土壤含水率密切相关。已有研究表明, 一定区域内地表温度与植被指数可以构成表征土壤含水率的梯形空间, 梯形中的“冷”边和“暖”边分别代表极端潮湿和极端干燥的区域, 靠近暖边的区域潜热通量较小, 蒸发过程被抑制^[21-22]。为了探究压砂田与非压砂田 2 种土地分类的在梯形空间中的分布, 对比蒸发的条件, 本研究中将 2 种土地类型分别从遥感影像上进行识别与提取, 并通过计算归一化植被指数(*NDVI*), 构造 *LST-NDVI* 的梯形空间, 分析砂田和其他土地类型在梯形空间中的分布, *NDVI* 计算式为:

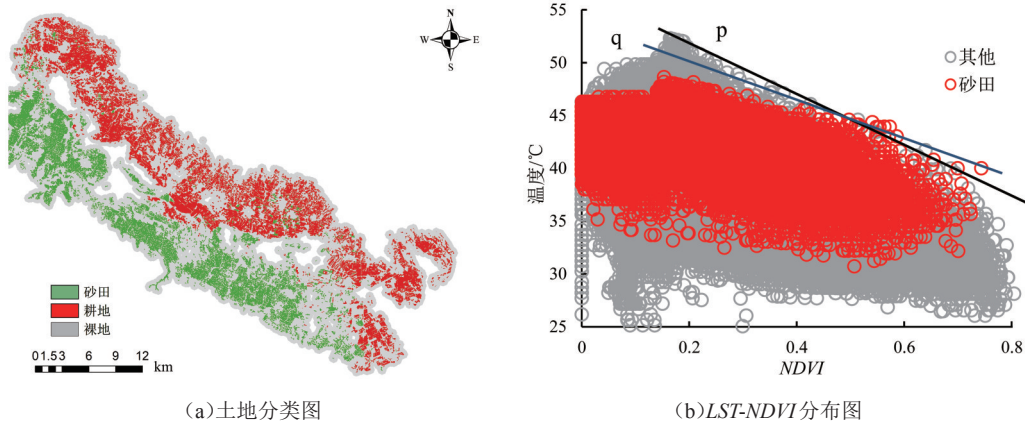
$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{RED} + \rho_{NIR}}, \quad (3)$$

式中: ρ_{RED} 和 ρ_{NIR} 分别为红波段和近红外波段的反射率, 对于 OLI 数据, 分别为 4 波段、5 波段。

2 结果与分析

2.1 砂田的抑制蒸发作用分析

选用2016年8月9日的一期Landsat-8香山地区遥感影像,对遥感影像采用监督分类和人工识别的方法,对影像中的砂田、裸地及耕地范围进行提取,结果见图1(a)。并通过基于TIRS 10波段的辐射传输方程法反演该期影像的地表温度。



(a)土地分类图

(b)LST-NDVI分布图

图1 研究区土地分类以及地表温度与NDVI的关系

图1(b)是研究区LST-NDVI的散点分布图。由图1(b)可知,研究区土地在LST-NDVI的梯形空间内,其中暖边(p)代表完全干燥、蒸发接近于0的地表,表明砂田在梯形空间中靠暖边分布,砂田区的暖边(q)与研究区暖边(p)接近,而砂田区冷边则明显比研究区冷边高。即在覆砂条件下,砂田更接近于“干燥的土壤”,干燥砂层充当了太阳辐射与土壤的“隔离层”,避免了相对湿润的土壤受到太阳直射,砂层因吸收太阳短波辐射温度升高,使得砂田在梯形空间中接近于暖边。因为与近地表的温差,高温砂层会以显热的形式释放大量能量,从而减少了土壤的蒸发,而干燥砂层的热容量弱于相对湿润的土壤,因此在太阳直射的中午,砂田温度高于裸土,而夜晚砂层迅速释放热量,温度低于裸土,使砂田昼夜温差比裸土大。

2.2 砂田的增温作用分析

由于砂田与耕地理化性质的差异,2种土地类型在一致的光照等条件下,所表现出来的地表温度和蒸散发变化过程却不一致,使2种土地类型种植下的作物产品品质有较大差异,尤其对光热及温差条件需求较大的西瓜等作物,使用覆砂种植能明显改善作物的生长状况和品质。遥感影像反演的结果是卫星过境瞬时的地表温度,然而一天中地表温度是一个持续变化的过程,地表积温变化持续影响作物根系生长。为了得到相同光照条件下砂田和裸地地表温度的变化,分别选择研究区内种植条件相同的砂田和裸地,在2010年8月26日10:00至8月28日22:00,每隔2h对砂田和裸地用地温计测量地表温度,得到地表温度连续监测结果。

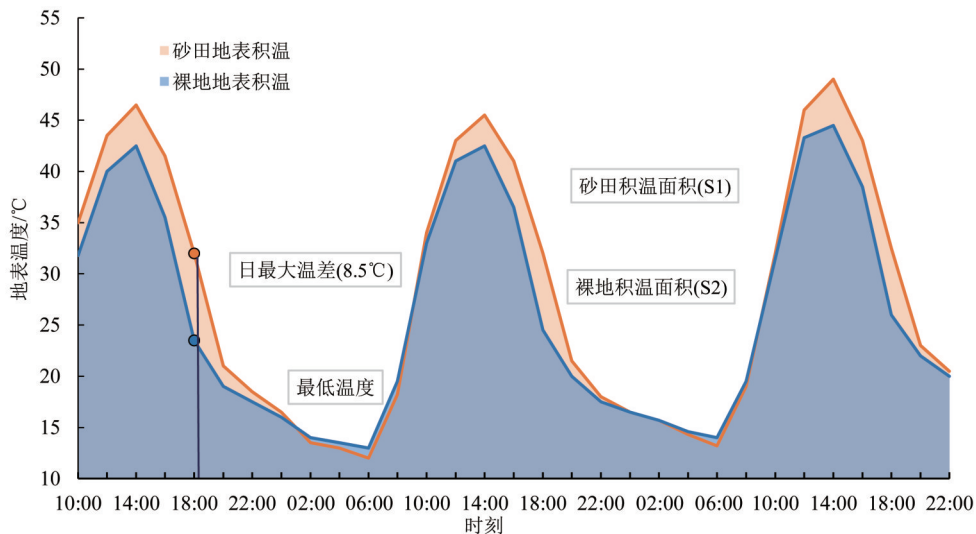


图2 实测砂田与裸地地表温度变化过程

图2为实测的砂田和裸地地表温度变化过程。从图2可以看出,在相同光照条件下,砂田与裸地在相同辐射条件下地表温度变化有明显差异。清晨太阳辐射较弱,砂田和裸地吸收太阳辐射,聚集热量,地表温度受限于太阳辐射的强弱,因此在08:00—10:00裸地与砂田的地表温度无明显差距。而随着太阳辐射的增强,砂田的增温保墒作用使得砂田地温高于裸地,且放热速率较裸地缓慢,在11:30时Landsat卫星过境,此时砂田温度略高于裸地,与遥感反演结果吻合,11:30之后砂田与裸地温差逐渐增大,在18:00左右温差达到最大值(8.5℃)。在14:00太阳直射地表,辐射最强,砂田和裸地均达到最高温度,在夜间砂田中的砾石容易辐射热量,使砂田地表温度略低于裸地地表温度,因此,砂田昼夜温差(33.5℃)明显比耕地大(29.5℃)。

从日地表积温来看,砂田日地表积温(623.4℃)略大于裸地日地表积温(588.6℃),而对于西瓜等喜温作物,当温度低于其生物学零度(10℃),作物及根系停止生长,因此,仅当高于10℃时的积温为有效积温,此时砂田日地表有效积温(S_1)为383.4℃,比裸地地表有效积温(S_2)高10%。因此,砂田相较于裸地能有效提高地表对太阳辐射的利用效率,对西瓜的生长和发育产生持续影响,提高西瓜的品质。

2.3 砂田退化对其功能的影响分析

研究表明,随着砂田使用年限的增加,砂田逐渐退化,其保水、蓄水、抑制蒸发、抑盐等作用相对减弱^[23]。为了从遥感影像上分析砂田退化的性质变化,对不同年限砂田区域进行提取。在排除个别区域砂田重新覆砂的情况下,整体上砂田都处于稳定状态,因此,在早期影像上提取的砂田区域其砂田使用年限越大,相较于新砂田其退化程度更严重,而近期影像上提取出的砂田区域为新铺设的砂田。通过获取的1991—2016年的6景Landsat卫星数据资料,使用遥感影像的监督分类和人工识别的方法,提取出各年的砂田区域,然后对提取出来的区域进行区域差值运算,得到各年新增的砂田区域,结果见图3。

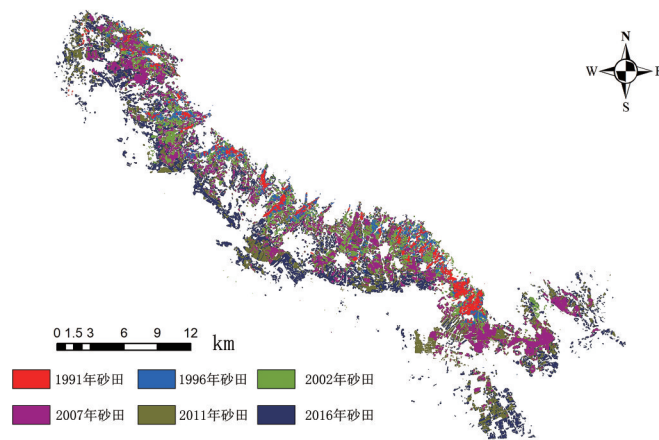


图3 各年新增的砂田区域提取

表1是对6景影像中该研究区内砂田和耕地的面积统计结果。由表1可知,在香山试验区,随着荒地的开拓,从1991年至2016年砂田和耕地的面积不断增大,2016年研究区砂田面积是1991年砂田面积的15倍,随着使用年限的增加,退化的砂田面积迅速增加,砂田退化问题也将逐渐显现,是未来需要解决的难题。

表1 研究区各年砂田和耕地面积

年份	1991	1996	2002	2007	2011	2016
砂田面积/km ²	14.80	26.74	52.70	106.18	164.07	221.71
耕地面积/km ²	57.37	68.54	79.96	126.17	259.35	264.54
砂田面积/耕地面积	0.26	0.39	0.66	0.84	0.63	0.84

依据图3中不同年限的砂田区域,对2016年同期影像中地表温度结果进行提取,得到不同年限的砂田在相同光照和气象条件下的地表温度直方分布,其分布结果如图4所示。

从图4可知,不同使用年限砂田的地表温度分布都近似服从正态分布,且不同年限砂田温度分布呈现明显的规律:1)铺设年限越早的砂田,其温度分布更为集中,峰形越“陡”,而新铺设的砂田温度分布较为分散;2)随着砂田使用年限的增加,其温度分布曲线的对称轴温度越高。这是因为新铺设的砂田中,表面砂层的砾石分布不均,且不同田块中砂层粒径和覆砂厚度不同,使砂层保温升温的性质差异,地表温度分布不均,而随着使用年限增加,砂土逐渐混合,不同田块砂田性质逐渐接近,温度分布相对集中。

值得注意的是,此时反演的地表温度仅是遥感过境时刻(11:30)的地表温度,并不代表积温的大小,因为砂田退化使砾石和土壤逐渐混合,其砂层成分发生了改变。已有研究表明,老砂田砂层含土量比新砂田增加了20%左右^[5],且老砂田与新砂田的吸热与放热过程相差很大,因此不同使用年限的砂田日地表温度变化曲线不同。

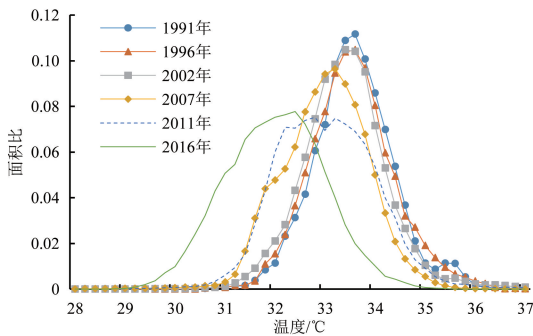


图4 各年砂田地表温度

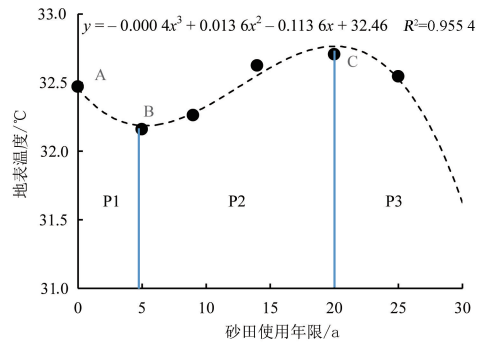


图5 不同使用年限砂田地表温度变化

研究中对不同使用年限的砂田地表温度取平均值,绘制温度随砂田使用年限变化的曲线,并用多项式曲线拟合温度曲线,结果如图5所示。卫星过境时刻,砂田地表温度随砂田的使用年限呈横向S曲线变化,王金牛等^[24]通过室内模拟试验发现在08:00和20:00砂田地表温度与砂田使用年限呈线性递减规律,而14:00呈横向S形曲线变化,上午的升温过程中不同退化程度砂田土壤温度比较接近,之后降温过程不同退化程度的砂田表现出较大差异,与本研究结果类似。

与王金牛等^[24]试验结果对比分析,在08:00和20:00,太阳辐射较弱,此时砂田温度与砂田蓄散热能力相关,而随着砂层含土量增加,热容量逐渐增大,因此温度呈线性递减趋势;而在日间太阳辐射强的阶段,太阳辐射使砂层温度升高,能量以长波形式由砂层向下层土壤传递,使土壤中的水分蒸发,以潜热形式带走土壤中的热量,此时砂层的温度与潜热通量带走的能量大小相关,此时温度分布表征砂田的功能退化状态。

从图5可以看出,砂田的功能退化与使用年限并不是线性递减的关系,随着含土量的增加,砂田状态发生变化,其退化过程可分3个阶段。

1) 纯砾石阶段(P1),新铺设的砂层中基本不含土壤,不同粒径的砂砾均匀分布,砾石与砾石、砂层与土壤中有大量孔隙。太阳辐射使表面砂层温度升高,砂层只能以热辐射和空气对流的方式向下层土壤传输热量,使土壤表面温度上升缓慢,抑制了土壤的蒸发,因此新铺设砂田的温度较高(点A)。随着砂层中粒径较小的砂砾往下移动充填空隙,细颗粒的砂砾与土壤充分接触,细砂中的孔隙与土壤孔隙连通,增大了土壤毛管上升力,使土壤水分随毛管力上升到细沙中,以潜热形式带走大量热量,随之砂田表面温度降低(点B)。

2) 砂土混合阶段(P2),随着耕种的影响,砂层中含土量逐渐增加,砂层中空隙渐渐被小粒径的土壤填充,而混合在砂层中的土壤经过蒸发形成干土,混合的砂层更加密实,水分难以通过空隙逃逸,土壤蒸发被抑制,此时砂层的温度随着含土量的增加而逐渐升高。

3) 砂土连通阶段(P3),随着砂层中含土量增加,当达到临界点(C)时,砂层中的土壤与下层土壤连通,水分直接通过土壤毛细管力输送到上表面砂层,通过蒸发带走热量。随着砂层中含土量的继续增大,大范围砂层直接进行潜热蒸发,此时砂层已经逐步丧失隔绝太阳辐射与下层土壤的能力,砂田温度呈直线下降,直至接近裸土温度。

3 讨论

本研究发现,纯砾石阶段(P1)是性质不稳定时期,持续时间较短,砂层充当覆膜的作用,王超等^[1]通过取样分析也发现,使用5a的砂田土壤表层中的粉粒分布最高,表明砂层中的细砂在往下移动,印证了上述结论。另外,王菲等^[25]也发现使用5a的砂田土壤表层含水率最高。这是因为细砂增大了土壤中的上升毛管力,使水分聚集在表层土壤,增大了土壤表层含水率;砂土混合阶段是砂层发挥作用的主要阶段,混进砂层中的土壤充当小颗粒砂砾,填充砂层中的孔隙,进一步抑制土壤蒸发,砂田功效的强弱与砂层的砂石粒径有关。Corey和Kemper^[26]的研究表明只有覆砂粒径大于下层土壤粒径时,才能有效抑制土壤蒸发,这是因为砂土混合阶段需要小粒径的土壤颗粒与砂层混合达到密实状态,才能有效抑制土壤水汽扩散。但过大的粒径

会增大孔隙,土壤难以完全填充,导致其抑制蒸发功效减弱^[27-28];砂土连通阶段是砂田退化阶段,砂层中的土壤输送水分到表层供给蒸发,砂田的退化程度取决于砂层与土层连通的面积。

从抑制蒸发和增温的功效来看,纯砾石阶段和砂土混合阶段砂田能有效抑制土壤蒸发,且认为在砂土混合阶段砂田对蒸发的抑制作用随含土量增加逐渐增强。在砂土连通阶段初期,砂田对土壤蒸发仍有强烈抑制作用,但随着含土量增加(约使用25~30 a以后),大范围砂层与土壤连通,砂层失去对土壤蒸发的抑制作用,从而影响砂田对土壤盐碱化的抑制作用,研究表明,相较新砂田,种植30 a以后的砂田土壤水热盐状况显著下降^[6,29],但仍需考虑不同的灌溉条件的影响^[30-31]。以此估计,2032年左右研究区将有52.7 km²的退化砂田,而2037年还将新增53.48 km²的退化砂田,如何处理将来大面积退化砂田是目前亟待解决的问题。

4 结论

砂田更接近于干燥的地表,能有效抑制潜热通量,在相同光照条件下,砂田昼夜温差比裸地大,且砂田地表有效积温相比裸地提高10%,砂田增温效果显著。地表温度随着砂田退化呈横向S形曲线,砂田的功效并不是随使用年限的增加呈线性减弱,按照其功能演变过程,砂田退化过分为3个阶段,纯砾石阶段和砂土混合阶段砂田持续发挥抑制蒸发和增温的主要功能,砂土连通阶段砂田开始逐渐退化。从功效的衰弱情况分析,从砂田铺设到砂田功能开始明显弱化,砂田的有效使用年限为25~30 a,30 a后砂田开始逐渐退化,其功能开始逐渐丧失。

参考文献:

- [1] 王超,王菲,吴秀玲,等. 压砂年限对土壤质量的影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(8):190-195.
- [2] 赵文举,郁文,范严伟,等. 滴灌条件下容重对压砂土壤水分入渗规律的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1):169-173, 200.
- [3] 宋日权,褚贵新,张瑞喜,等. 覆砂对土壤入渗、蒸发和盐分迁移的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(2): 282-288.
- [4] 蔡永坤. 砂石覆盖对农田土壤水分及作物生长和发育的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2015.
- [5] 王平,谢成俊,陈娟. 不同种植年限砂田水盐变化与砂田退化初探[J]. 水土保持通报, 2012, 32(2):251-254.
- [6] 赵文举,唐学芬,范严伟,等. 不同种植年限压砂地土壤盐分变化规律研究[J]. 中国水土保持, 2014(9):51-53, 69.
- [7] 赵文举,李娜,李宗礼,等. 不同种植年限压砂地土壤水分空间变异规律研究[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(6):1 067-1 073.
- [8] 王永忠,牛国元,许强,等. 宁夏中部干旱带压砂地耕作方式的生态功能[J]. 水土保持通报, 2010, 30(3):163-167.
- [9] 许强,吴宏亮,康建宏,等. 旱区砂田肥力演变特征研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1):37-41.
- [10] 胡景田,马琨,王占军,等. 荒地不同压砂年限对土壤微生物区系、酶活性与土壤理化性状的影响[J]. 水土保持通报, 2010, 30(3):53-58.
- [11] 李稚,汪洋,王志成,等. 1982—2012年西北干旱区蒸散发组分时空变化分析[J]. 灌溉排水学报, 2018,37(7):120-128.
- [12] 杨玉永,徐秀杰,杨丽萍. 墒情遥感监测中热惯量模型的修正[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(6):54-59.
- [13] 陈智森,司炳成. 基于高分辨率影像的河套灌区乡镇尺度作物种植面积监测[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(6):124-128.
- [14] 胡德勇,乔妮,王兴玲,等. 单窗算法结合 Landsat 8 热红外数据反演地表温度[J]. 遥感学报, 2015, 19(6):964-976.
- [15] 毛克彪,覃志豪,王建明,等. 针对MODIS数据的大气水汽含量反演及31和32波段透过率计算[J]. 国土资源遥感, 2005, 17(1):29-32,79.
- [16] 张兆明,何国金,肖荣波,等. 利用TM6数据反演陆地表面温度新算法研究[J]. 遥感技术与应用, 2005, 1(6):547-550.
- [17] 覃志豪,ARNON Karnieli. 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.
- [18] 候静,杜灵通,张学俭. 压砂种植模式对地表热场景观格局的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(1):264-271.
- [19] 谭军利,王玉龙,赵小勇,等. 宁夏环香山地区降水特性分析[J]. 宁夏工程技术, 2013, 12(2):128-130.
- [20] 白洁,刘绍民,扈光. 针对TM/ETM遥感数据的地表温度反演与验证[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9):148-154.
- [21] TANG Ronglin, LI Zhaoliang, TANG Bohui. An application of the ts-vi triangle method with enhanced edges determination for evapotranspiration estimation from modis data in arid and semi-arid regions: implementation and validation[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(3): 540-551.
- [22] SUN Zhigang, WANG Qinxue, Bunkei Matsushita, et al. A new method to define the vi-ts diagram using subpixel vegetation and soil information: a case study over a semiarid agricultural region in the North China plain[J]. Sensors, 2008, 8(10):6 260-6 279.
- [23] 王平,谢成俊,陈娟. 不同种植年限砂田水盐变化与砂田退化初探[J]. 水土保持通报, 2012, 32(2):251-254.
- [24] 王金牛,谢忠奎,郭志鸿,等. 砂田退化对土壤温度和蒸发影响的模拟研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2):388-393.
- [25] 王菲,王建宇,王幼奇. 宁夏荒地压砂年限与土壤理化性质研究[J]. 北方园艺, 2014(13):181-185.
- [26] COREY A T, KEMPER W D. Conservation of soil water by gravel mulches[D]. Fort Collins: Colorado State University, 1968.
- [27] 崔向新,蒙仲举,高永,等. 不同粒径砾石覆盖对土壤水分蒸发的影响[J]. 中国农村水利水电, 2009(3):21-23.
- [28] 陈士辉,谢忠奎,王亚军,等. 砂田西瓜不同粒径砂砾石覆盖的水分效应研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(3):433-436.
- [29] 马忠明,杜少平,薛亮. 覆砂年限对砂田砂层质量、土壤水热状况及西瓜生长的影响[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5):1 433-1 439.
- [30] 郑文生,孟岩,李芳花,等. 地下滴灌条件下氮肥调控对氮转移规律的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8):15-21.
- [31] 付蕾,魏珉,李岩,等. 不同灌溉施肥方式对日光温室甜椒生长、产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8):8-14.

Service Life of the Gravel-sand Mulch in Reducing Soil Evaporation

LI Wangcheng^{1,2,3}, WANG Shuai^{1*}, WANG Xingwang⁴

(1. College of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Engineering Research Center of Water Resource Efficient Utilization of Modern Agriculture in Arid Area, Ministry of Education, Yinchuan 750021, China; 3. Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of

Degraded Ecosystem in Northwest China of Ministry of Education, Yinchuan 750021, China;

4. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100000, China)

Abstract: **【Objective】**Gravel mulch is an effective method to reduce soil evaporation, but its service deteriorates as time elapses. In this paper we studied the change in capability of a gravel mulch in thermal preservation and evaporation inhibition using satellite imagery. **【Method】**The analysis was based on the Landsat satellite data, and the radiative transfer equation was used to inversely calculate the surface temperature (*LST*) of a gravel-sand mulched field in Xiangshan. Combining with the observed *LST*, we compared the change in surface temperature of the mulched and bare ground, from which we analyzed the efficacy of the mulch in reducing soil evaporation and its degradation as the mulch was aging. **【Result】**The mulch was close to the warm edge in the *LST-NDVI* trapezoidal space and the soil moisture in it was lower than that in the cultivated land; it is close to that in the dry soil. The gravel-sand mulch can attenuate the radiation to reach soil surface, thereby reducing the latent heat flux and consequently soil evaporation. The day-night temperature oscillation in the mulched field was more substantial than that in the bare field. We also found that for watermelon, mulching increased the effective surface cumulative temperature by 10% compared to the bare field. **【Conclusions】**Degradation of the gravel-sand mulch can be divided into pure gravel-sand stage, sand-soil stage and sand-soil connection stage. Based on our results, the effective serviceable life of the mulch is approximately 25~30 years.

Key words: gravel-sand mulched field; temperature inversion; mulched field degradation; evaporation inhibition

责任编辑:陆红飞