

西南干热河谷休闲农田温度与蒸发量 日变化规律及协同关系

胡兵辉¹,王 维²,张红芳¹

(1.西南林业大学环境科学与工程学院,云南 昆明 650224;
2.西南林业大学计算机与信息学院,云南 昆明 650224)

摘 要: 针对西南干热河谷旱季休闲农田面积扩大的实际,选择旱季初和旱季末 2 个时段,研究 24 h 休闲农田温度与农田蒸发量的变化规律及协同关系。结果表明:休闲农田温度曲线和蒸发量累计曲线大致呈现波形函数曲线变化,随着土壤深度和农田覆盖物的增加,曲线依次向后推移,波幅也逐渐变小,表明农田覆盖物对土壤起到一定的稳温和保水作用,可明显降低农田土壤水分散失;休闲农田温度与农田蒸发量的协同函数均呈现正向协同关系,且协同系数普遍较大,随着土壤深度和地表覆盖物逐渐增加,协同关系逐渐减弱,而干旱却有利于协同关系加强,说明在气候干燥区,农田温度升高,农田蒸发量增大,温度与蒸发量的协同关系增强,农田温度仍然是农田蒸发的主要推动因素。故西南干热河谷地区要开发利用季节性休闲农田,就必须做好旱季农田土壤水分的保蓄,增加地表覆盖物,减少农田水分的无效蒸发,为休闲农田的开发利用奠定良好的水分基础。

关键词: 休闲农田;温度;蒸发量;日变化规律;协同关系;西南干热河谷
中图分类号: S161.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0259-07

Daily variation rule and synergic relation of fallow farmland temperature with evaporation in southwest dry-hot valley

HU Bing-hui¹, WANG Wei², ZHANG Hong-fang¹

(1. *Environmental Science and Engineering College, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China;*
2. *Computer and Information College, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China*)

Abstract: Aiming at the reality of fallow farmland area enlarging in dry season of southwest dry-hot valley, this paper researches the change regulation and synergic relation of fallow farmland temperature with evaporation in 24 hours at the beginning and end of the dry season. The results showed that: The fallow farmland temperature curves and evaporation summation curves are mainly presented the change of waveform function curve. With the soil depth and farmland mulch increase, the curves backwardly evolved in proper order, the amplitudes also gradually reduced. It indicated that the farmland mulch will be played a certain function for stable soil temperature and water conservancy, can obviously reduce the soil moisture losses. The synergic function of fallow farmland temperature with evaporation was presented a positive synergic relationship and the synergic coefficient was generally rather large. But with the soil depth and land surface mulch gradual increase, the synergic relationship will be gradually decreased. Yet the drought will be useful to strengthen the synergic relation. It can illustrate that the land evaporation will be increasing when the farmland temperature going up, so the farmland temperature still is the main driving factor for the farmland evaporation. Therefore to develop and utilize the seasonal fallow farmland in the southwest dry-hot valley area, it must be doing best to save and store the soil water in dry season by adding the land surface mulches, reducing the noneffective evaporation for thr soil moisture, to establish a good water foundation for developing and utilizing the fallow farmland.

Keywords: fallow farmland; temperature; evaporation; daily change regulation; synergic relationship; southwest dry-hot valley

收稿日期:2014-01-08
基金项目:国家自然科学基金项目(31201173);西南林业大学科研启动基金项目(111116)
作者简介:胡兵辉(1979—),男,陕西乾县人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事农业资源利用与生态系统调控方面的教学与科研工作。E-mail:hubinghui1980@126.com。

西南干热河谷区系指横断山区河面以上 300 ~ 800 m 的干旱、半干旱河谷地带,主要分布于金沙江、怒江、澜沧江和雅砻江的中、下游,大渡河和元江的中游,岷江和嘉陵江上游等河谷区,其总长度为 4 105 km,总面积 11 230 km²^[1-5]。元谋干热河谷区位于云南省中北部的金沙江一级支流龙川江的中下游地区,介于 101°35' ~ 102°06' E, 25°23' ~ 26°06' N 之间,土地面积约 2 021.47 km²^[6-9],属典型的亚热带干旱半干旱气候类型,炎热干燥、降水少而集中、蒸发量大、干湿季分明、土地退化严重、植被覆盖率低、水土流失严重是该区最显著的生态环境特点^[10-13]。旱坡地是元谋干热河谷区主要的农业土地利用类型^[8,12-13],占耕地面积的 57.49%,水浇地占耕地面积的 42.51%^[13-16],随着连年旱情的加剧,一些水浇地面临无水可浇的境地,逐渐演变为旱地的利用方式,旱地耕作最大的特点就是季节性休闲,雨季充分利用“雨热同季”的气候特点种植农作物,进入旱季后,气候干燥少雨,土壤严重干旱,无法进行耕种,旱地便进入休闲撂荒阶段,等来年雨季到来时继续耕种,造成旱季农业资源浪费尤为严重,这也是西南高原季节性旱区普遍存在的耕种方式。本文研究西南干热河谷区休闲农田温度与蒸发量的变化规律及协调关系,旨在为开发旱季休闲农田、提高旱地农业资源利用率服务。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于元谋县新华乡平地村,属山区,土地面积 4.59 km²,海拔 1 617.00 m,属亚热带干旱半干旱气候,光热充足,高温干燥,干旱少雨,干湿季节分明,年降雨量 610 ~ 798 mm,集中在 5—9 月份,其它月份少雨或无雨,年蒸发量高达 2 850 ~ 3 910 mm,年蒸发量为降水量的 4 ~ 6 倍,≥10℃积温 7 800℃ ~ 8 800℃,年平均气温 17.5℃ ~ 23.6℃,极端最高气温达 42℃,极端最低气温 - 2℃,太阳总辐射量 550.8 ~ 650.9 kJ·cm⁻²,平均年日照时数 2 380.4 ~ 2 840.0 h,日照率 62%,干燥度 4.4,年无霜 320 ~ 362 d,有利于农作物越冬。当地适宜种植水稻、玉米、蔬菜、小麦、蚕豆等,农民收入主要以种植业和养殖业为主。

1.2 研究地类说明

研究区旱坡地面积大,普遍存在“雨季种植、旱季休闲”的生产方式,本研究选择旱季最常见的 3 种休闲地类作为研究对象,即:翻耕裸地、免耕荒草地和秸秆覆盖地。翻耕裸地为雨季种植作物的农田,

收获后进行翻耕,然后等待来年雨季再进行耕种的地类;免耕荒草地为雨季种植作物的农田,收获后不进行耕作,直接休闲撂荒,等待来年雨季再进行耕种的地类,荒草覆盖度达 83.94%;秸秆覆盖地为雨季种植作物的农田,收获后不进行耕作,把农作物秸秆压倒覆盖在田间,等待来年雨季再进行耕种的地类,秸秆覆盖量为 4 500 kg·hm⁻²。

1.3 测定方法

在旱季初(雨季末)和旱季末(雨季初)选择晴朗的天气,进行全天 24 h 测定,每次测定设 3 个重复,并分别连续测定 3 日,本研究测定日期为 2012 年 10 月 1—3 日和 2013 年 5 月 1—3 日日,分别代表旱季初(雨季末)和旱季末(雨季初)。

农田温度用温度计和地温计测定,包括农田气温和 0 cm、5 cm、10 cm、15 cm 深度土壤温度,1 h 读数一次;农田蒸发量用微型蒸渗仪(Micro-Lysimeter)测定,微型蒸渗仪内筒直径为 10 cm,深 10 cm,塑料薄膜封底,使用精度为 0.01 g 的电子天平(BL-3000)称重,2 h 称重一次,每日换土一次。

2 结果与分析

2.1 休闲农田温度变化规律

2.1.1 旱季初休闲农田温度的日变化规律 从图 1 可见,旱季初,在 24 h 里,翻耕裸地 0 cm、5 cm、10 cm 土壤平均温度分别为 19.5℃、18.3℃、18.2℃,土壤温度曲线的波幅分别为 30.2℃、16.9℃、11.5℃,土壤平均温度依次减小,波幅也依次变小;免耕荒草地 0 cm、5 cm、10 cm 土壤平均温度分别为 17.8℃、18.2℃、18.6℃,土壤温度曲线的波幅分别为 18.9℃、14.8℃、10.8℃,平均温度依次增大,波幅依次变小,荒草有一定的稳温作用;秸秆覆盖地 0 cm、5 cm、10 cm 土壤平均温度分别为 18.0℃、17.9℃、17.9℃,土壤温度曲线的波幅分别为 18.0℃、11.8℃、6.5℃,平均温度基本稳定,波幅依次变小,秸秆有明显的稳温作用;除翻耕裸地外,免耕荒草地、秸秆覆盖地 0 cm、5 cm、10 cm 土壤平均温度基本均小于气温 18.4℃,温度曲线波幅也均小于气温波幅 24.6℃。总体上,农田气温与翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地 0 cm、5 cm、10 cm 深度土壤温度均大致呈现波形函数曲线变化,在 24 h 中均出现了一次波峰(最大值)和一次波谷(最小值),除翻耕裸地外,从农田气温到土壤,气温、0 cm、5 cm、10 cm 土壤温度曲线依次向后推移,波峰和波谷的出现时间同样出现滞后现象,波幅也逐渐变小,曲线波动减弱,进一步说明农田裸露时,白天地表温度升温快,而夜

晚土壤散热迅速,土壤温度昼夜升降幅度大,但地表有覆盖时,对土壤的稳温作用显著。

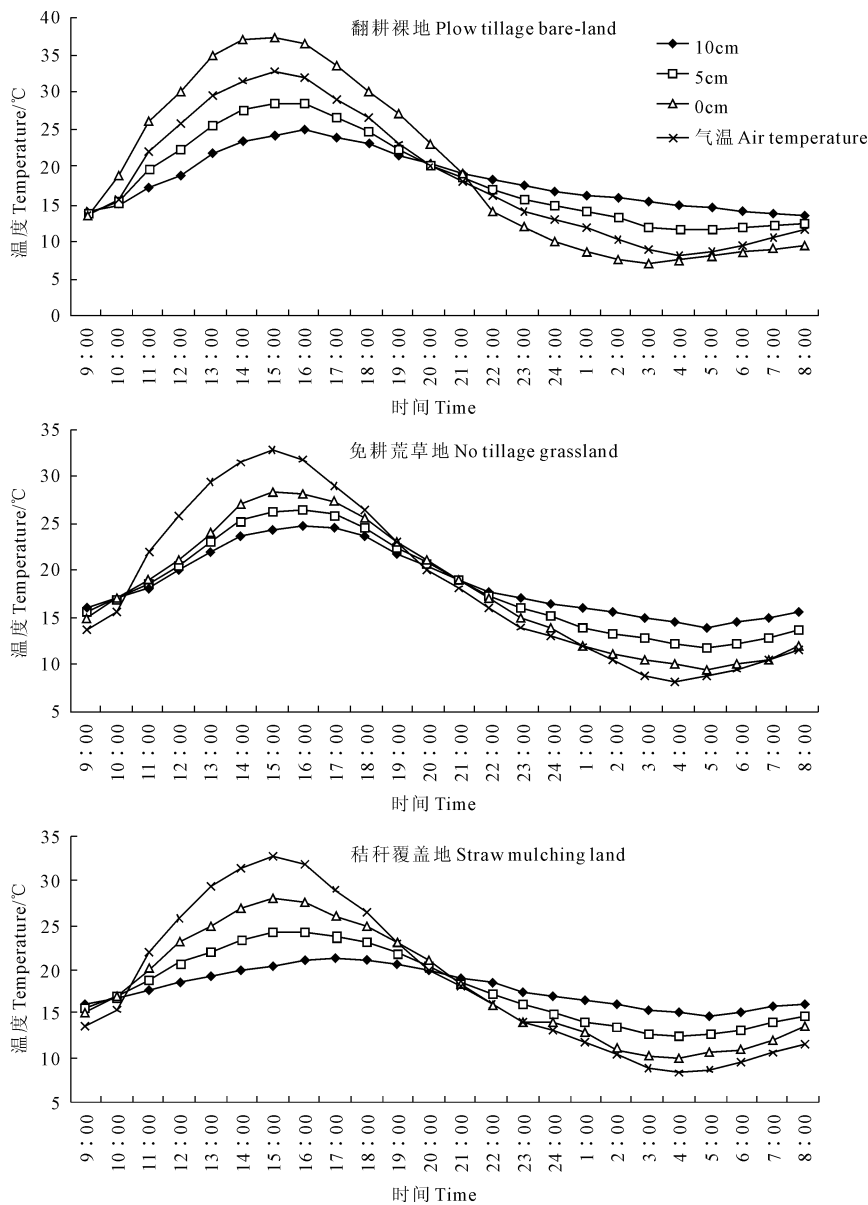


图 1 不同休闲地类旱季初农田温度日变化规律

Fig.1 The daily change regulation of farmland temperatures at the beginning dry season for different type of fallowlands

2.1.2 旱季末休闲农田温度的季变化规律 图 2 显示,旱季末,在 24 h 中,翻耕裸地 0 cm、5 cm、10 cm 土壤平均温度分别为 25.3℃、24.3℃、24.2℃,土壤温度曲线的波幅分别为 23.4℃、16.1℃、12.4℃,土壤平均温度依次减小,波幅也依次变小;免耕荒草地 0 cm、5 cm、10 cm 土壤平均温度分别为 24.2℃、24.6℃、25.0℃,土壤温度曲线的波幅分别为 17.0℃、13.4℃、11.0℃,平均温度依次增大,波幅依次变小,荒草的稳温作用表现出来;秸秆覆盖地 0 cm、5 cm、10 cm 土壤平均温度分别为 22.5℃、22.6℃、22.7℃,土壤温度曲线的波幅分别为 13.0℃、7.6℃、4.5℃,平均温度依次增大,波幅依次

变小,秸秆覆盖的稳温作用明显凸显;除翻耕裸地外,免耕荒草地、秸秆覆盖地 0 cm、5 cm、10 cm 土壤平均温度基本上大致小于 24.4℃,温度曲线波幅也均小于气温波幅 20.8℃。另外,农田气温与翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地 0 cm、5 cm、10 cm 深度土壤温度均基本呈现波形函数曲线变化,在 24 h 中均也出现了一次波峰(最大值)和一次波谷(最小值),除翻耕裸地外,从气温、0 cm、5 cm、10 cm 土壤温度曲线依次向后推移,波峰和波谷的出现时间同样出现滞后现象,波幅也逐渐变小,曲线波动减弱,同样说明地表有覆盖时,对土壤起到一定的稳温和保温作用,而裸露处理恰好相反。另外,旱季初农田

平均温度均小于旱季末,这与土壤水分含量可能有一定的关系,土壤水分含量高,土壤热容量大,土壤

水具有储热和稳温的作用。

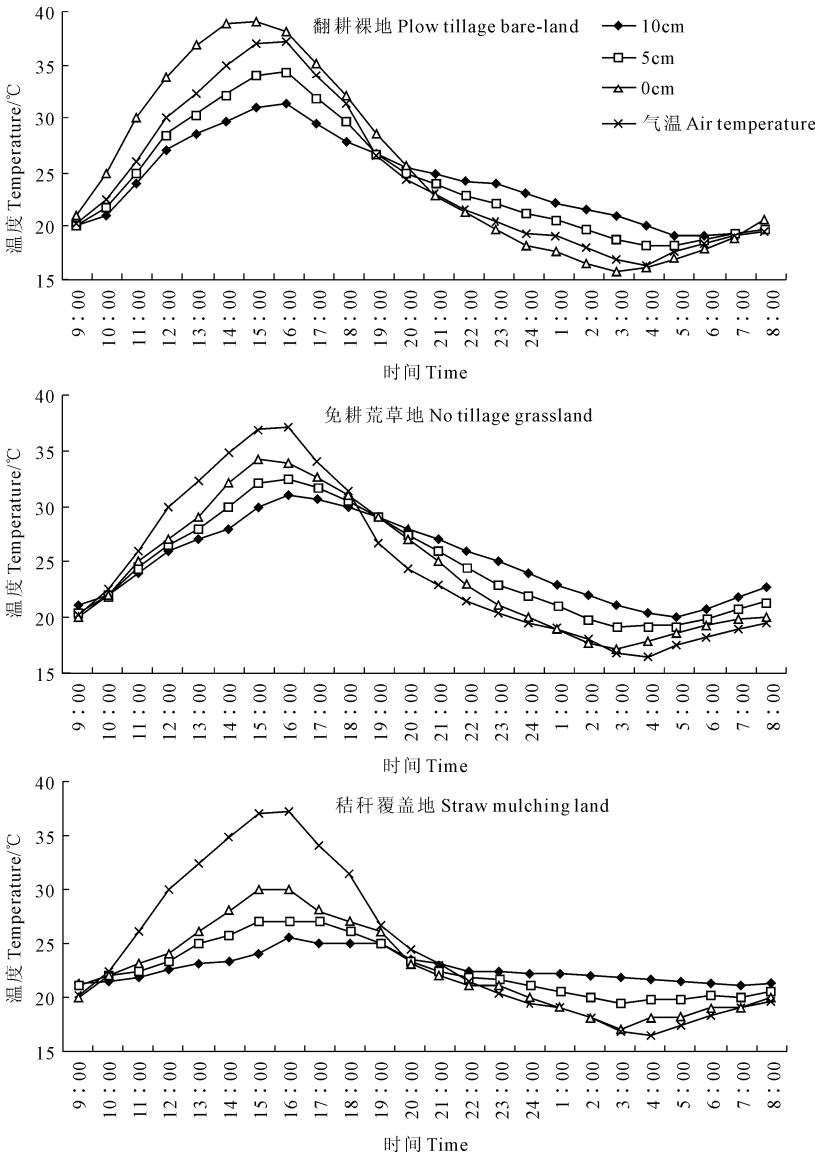


图 2 不同休闲地类旱季末农田温度日变化规律

Fig.2 The daily change regulation of farmland temperatures at the end of dry season for different type of fallowlands

2.2 休闲农田蒸发量变化规律

2.2.1 旱季初休闲农田蒸发量的日变化规律 由图 3 知,旱季初,以 24 h 为时间尺度,每 2 h 的翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地农田蒸发量的累计曲线均大致呈现波形函数曲线变化,也均出现了一次波峰(最大值)和一次波谷(最小值),随着土壤表面覆盖物的出现及加厚,整个累计曲线有滞后特点,蒸发量的最高值和最低值出现后移,且累积曲线波幅和日蒸发量逐渐减小。在 24 h 里的多数时段,农田蒸发为土壤水分散失的主要途径,受土壤水、大气湿度、温度等的影响,夜晚一段时间土壤会返湿,但农田土壤总体表现为失水,翻耕裸地、免耕荒草地、秸

秆覆盖地累计日蒸发量分别为 6.83 mm、4.26 mm、3.01 mm,累计曲线波幅分别为 2.43 mm、1.60 mm、1.14 mm。说明地表覆盖物可以明显减少农田土壤水分的无效蒸发,并起到一定的保水作用。另外,由于旱季初(雨季末)土壤水分含量高,有利于土壤水分无效蒸发,农田日蒸发量较大,再加上即将到来的漫长旱季,将进一步加剧土壤水分的亏欠,这对旱季农作物的生长会造成严重的限制,甚至无法完成生长发育进程。因此,旱季初是农田保水蓄水的关键时期,如能及时采取保蓄水措施,便可起到事半功倍的显著效果。

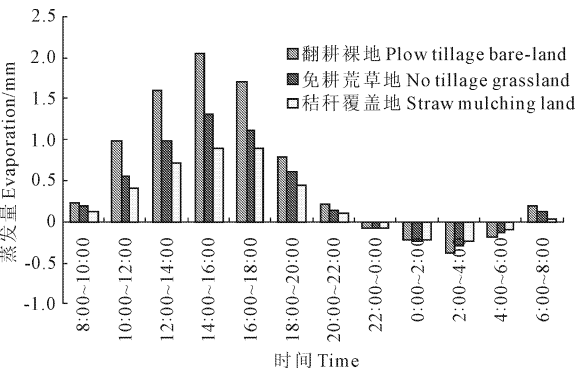


图 3 不同休闲地类旱季初农田蒸发量的日变化规律

Fig.3 The daily change regulation of farmland evaporation at the beginning dry season for different type of fallowlands

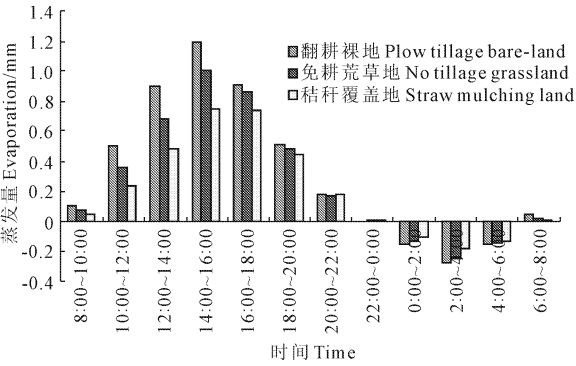


图 4 不同休闲地类旱季末农田蒸发量的日变化规律

Fig.4 The daily change regulation of farmland evaporations at the end of dry season for different type of fallowlands

2.2.2 旱季末休闲农田蒸发量的季变化规律 由图 4 知,旱季初,同样在 24 h 里的多数时段,农田蒸发依然是土壤水分散失的主要途径,由于土壤、大气温湿度等因子的影响,夜晚一段时间土壤会返湿,但农田土壤总体仍表现为失水。翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地累计日蒸发量分别为 3.77 mm、3.14 mm、2.48 mm,累计曲线波幅分别为 1.48 mm、1.24 mm、0.93 mm。可见,每 2 h 的翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地农田蒸发量的累计曲线也均大致呈现波形函数曲线变化,同样均出现了一次波峰(最大值)和一次波谷(最小值),随着土壤表面覆盖物的出现及加厚,整个累计曲线有滞后特点,蒸发量的最高值和最低值也出现后移,且累积曲线波幅和日蒸发量逐渐减小。进一步说明地表覆盖物的存在,可以明显减少农田土壤水分的无效蒸发,从而起到一定的保水作用。尽管旱季末农田温度(包括气温、0 cm、5 cm、10 cm 土壤温度)平均值均高于旱季初,但日蒸发量和 2 h 蒸发量累计曲线波幅均小于旱季初,这主要与农田土壤水分含量有关系,在经过了漫长的旱季,土壤水分极其匮乏,表层土壤尤为干燥,

几乎无水蒸发,农田蒸发的水分来源主要靠深层土壤水补给,随着旱季的持续加长,这可使农田土壤干层逐渐下移到土壤深层,造成严重的农田土壤干燥化问题。

2.3 休闲农田温度与蒸发量的协同关系

2.3.1 旱季初休闲农田温度与蒸发量的协同关系

旱季初,在 24 h 里,从不同休闲地类农田温度与蒸发量的协同关系看(表 1),翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地农田蒸发量与其相应气温、0 cm、5 cm、10 cm 土壤温度的协同函数均呈现正向协同关系,协同系数较大,说明协同关系较强;翻耕裸地地表温度与蒸发量的协同关系最大,免耕荒草地和秸秆覆盖地气温与蒸发量的协同关系最大,3 种休闲地类 10 cm 土层温度与蒸发量的协同关系均最小,证明农田覆盖物和土层深度对协同关系有影响;在田间垂直方向上,随着土壤深度增加,翻耕裸地、免耕荒草地和秸秆覆盖地农田温度与蒸发量的协同系数逐渐变小;从均值看,翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地不同层次农田蒸发量与农田温度协同系数的平均值为 0.8984、0.8875、0.8717,依次减小。可以看出,旱季初,3 种休闲地类农田蒸发量与农田温度具有较明显的正向协同关系,农田温度升高,农田蒸发量增大,此外,随着土壤深度和农田覆盖物的增加,农田蒸发量与农田温度的协同关系减弱,但仍表现为正协同关系。

2.3.2 旱季末休闲农田温度与蒸发量的协同关系

从表 2 可以看出,旱季末,在 24 h 里,翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地农田蒸发量与其相应气温、0 cm、5 cm、10 cm 土壤温度的协同函数也均呈现正向协同关系,协同系数普遍较大,协同关系较强;同样,3 种休闲地类 10 cm 土层温度与蒸发量的协同关系均最小,免耕荒草地和秸秆覆盖地气温与蒸发量的协同关系最大,仅翻耕裸地地表温度与蒸发量的协同关系最大,农田覆盖物和土层深度对协同关系产生影响;在垂直方向上,随着土壤深度增加,翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地农田温度与蒸发量协同系数同样逐渐变小,在水平方向上,随着田间覆盖物的增加,相同层次深度土壤温度与农田蒸发量的协同性降低;从均值看,3 种休闲地类不同层次农田蒸发量与农田温度协同系数的平均值为 0.9323、0.9085、0.8749,依次减小,但均大于旱季初。总体表明,旱季末休闲农田温度与农田蒸发量也具有较明显的正向协同关系,农田温度升高,农田蒸发量增大,且随着土壤深度和农田覆盖物的增加,农田蒸发量与农田温度的协同关系减弱,说明农田覆盖物可

以降低农田温度与蒸发量的协同关系;但与旱季初相比,伴随农田土壤含水量的降低,休闲农田温度与农田蒸发量协同系数的平均值增大,协同关系却进一步加强。以上切实证明,在西南干热河谷地区,农

田温度仍然是农田无效蒸发的主要推动因素,尤其是干旱季节,农田温度与农田蒸发量的协同关系更加显著,但农田覆盖有利于减小农田温度与农田蒸发量的协同关系。

表 1 不同休闲地类旱季初农田温度与蒸发量的协同关系

Table 1 Synergic relationships of farmland temperature with evaporations at the beginning dry season for different type of fallowlands			
蒸发量(y) Evaporation	温度(x) Temperature	协同函数 Synergic function	协同系数 Synergic coefficient
翻耕裸地蒸发量 Evaporation of the plow tillage bare-land	气温 Air	$y = 0.0944x - 1.1740$	$R^2 = 0.9416$
	0 cm	$y = 0.0706x - 0.8128$	$R^2 = 0.9427$
	5 cm	$y = 0.1300x - 1.8142$	$R^2 = 0.9024$
	10 cm	$y = 0.1838x - 2.7504$	$R^2 = 0.8069$
免耕荒草地蒸发量 Evaporation of no- tillage grassland	气温 Air	$y = 0.0615x - 0.7809$	$R^2 = 0.9354$
	0 cm	$y = 0.0765x - 1.003$	$R^2 = 0.8844$
	5 cm	$y = 0.0983x - 1.4291$	$R^2 = 0.8780$
	10 cm	$y = 0.1352x - 2.1529$	$R^2 = 0.8521$
秸秆覆盖地蒸发量 Evaporation of straw mulching land	气温 Air	$y = 0.0466x - 0.6095$	$R^2 = 0.9335$
	0 cm	$y = 0.0630x - 0.8790$	$R^2 = 0.9319$
	5 cm	$y = 0.0926x - 1.4006$	$R^2 = 0.9076$
	10 cm	$y = 0.1602x - 2.6101$	$R^2 = 0.7136$

表 2 不同休闲地类旱季末农田温度与蒸发量的协同关系

Table 2 Synergic relationship of farmland temperatures with evaporations at the end of dry season for different type of fallowlands			
蒸发量(y) Evaporation	温度(x) Temperature	协同函数 Synergic function	协同系数 Synergic coefficient
翻耕裸地蒸发量 Evaporation of the plow tillage bare-land	气温 Air	$y = 0.0694x - 1.3756$	$R^2 = 0.9814$
	0 cm	$y = 0.0572x - 1.1274$	$R^2 = 0.9852$
	5 cm	$y = 0.0870x - 1.7988$	$R^2 = 0.9454$
	10 cm	$y = 0.1070x - 2.2753$	$R^2 = 0.8173$
免耕荒草地蒸发量 Evaporation of no- tillage grassland	气温 Air	$y = 0.0593x - 1.1810$	$R^2 = 0.9846$
	0 cm	$y = 0.0694x - 1.4172$	$R^2 = 0.9668$
	5 cm	$y = 0.0835x - 1.7915$	$R^2 = 0.9132$
	10 cm	$y = 0.0971x - 2.1601$	$R^2 = 0.7692$
秸秆覆盖地蒸发量 Evaporation of straw mulching land	气温 Air	$y = 0.0465x - 0.9253$	$R^2 = 0.9571$
	0 cm	$y = 0.0746x - 1.4471$	$R^2 = 0.9390$
	5 cm	$y = 0.1127x - 2.3156$	$R^2 = 0.9074$
	10 cm	$y = 0.1995x - 4.3146$	$R^2 = 0.6959$

3 结 论

在元谋干热河谷区,选择旱季初和旱季末,研究 24 h 里休闲农田温度与蒸发量的变化规律及协同关系,结论如下:

1) 翻耕裸地、免耕荒草地和秸秆覆盖地农田气温及 0 cm、5 cm、10 cm 深度土壤温度均大致呈现波形函数曲线变化,波峰(最大值)和波谷(最小值)均出现了一次,随着土壤深度和农田覆盖物的增加,温

度曲线依次向后推移,波幅也逐渐变小,表明地表有覆盖物时,对土壤起到一定的稳温作用,而裸露恰好相反,另土壤水也具有储热和稳温的作用。

2) 每 2 h 的翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地农田蒸发量的累计曲线与温度曲线有相同变化规律,出现一次波峰(最大值)和波谷(最小值),随着土壤表面覆盖层的加厚,整个累计曲线有滞后特点,且累积曲线波幅和日蒸发量逐渐减小,说明地表覆盖物可以明显减少农田土壤水分的无效蒸发,并起到

一定的保水作用,农田土壤含水量越大,越有利于土壤水分蒸发,农田蒸发为休闲农田土壤水分散失的主要途径。

3) 翻耕裸地、免耕荒草地、秸秆覆盖地农田蒸发量与其相应气温、0 cm、5 cm、10 cm 土壤温度的协同函数均呈现正向协同关系,协同系数普遍较大,说明农田温度升高,农田蒸发量增大,农田温度仍然是农田无效蒸发的主要推动因素,随着土壤深度增加,协同系数逐渐变小,随着田间覆盖物的增加,相同层次深度土壤温度与农田蒸发量的协同性降低,但旱季农田温度与农田蒸发量的协同关系有加强趋势。

由此,西南干热河谷区要开发利用季节性休闲农田,就必须做好农田土壤水分的保蓄,减少农田水分的无效蒸发,故增加地表覆盖物(如地膜覆盖、秸秆覆盖等)就显得格外重要,地表覆盖物的存在可有效抑制土壤水分的无效蒸发,稳定土壤温度,在干热地区还有降低土壤平均温度的作用,为旱季休闲农田的进一步开发利用奠定了良好的水分基础。此外,农田蒸发量与农田温度的变化规律及协同关系同农田土壤质地、农田覆盖物、农田小气候具有一定的关联,同时与土壤含水量、贮水量和田间持水量等也具有密切关系,均须做进一步的深入研究。

参 考 文 献:

[1] 陈利顶,王 军,傅伯杰.我国西南干热河谷脆弱生态区可持续发展战略[J].中国软科学,2001,6:95-99.

[2] 张建平,王道杰,王玉宽,等.元谋干热河谷区生态环境变迁探

讨[J].地理科学,2000,20(2):148-154.

[3] 钟祥浩.干热河谷区生态系统退化及恢复与重建途径[J].长江流域资源与环境,2000,(9):376-384.

[4] 纪中华,刘光华,段曰汤,等.金沙江干热河谷脆弱生态系统植被恢复及可持续生态农业模式[J].水土保持学报,2003,17(5):1-4.

[5] 何永彬,陆培泽,朱 彤.横断山—云南高原干热河谷形成原因研究[J].资源科学,2000,22(5):69-73.

[6] 程圣东,李占斌,李 强.干热河谷地区土壤物理特性对土壤侵蚀的影响[J].水资源与水工程学报,2008,19(5):38-43.

[7] 赵元蛟,苏文华,张光飞,等.云南元谋干热河谷土壤水分季节动态[J].安徽农业科学,2013,41(8):3593-3594.

[8] 陈奇伯,王克勤,李金洪,等.元谋干热河谷坡耕地土壤侵蚀造成的土地退化[J].山地学报,2004,22(5):528-532.

[9] 张信宝,杨 忠,张建平.元谋干热河谷坡地岩土类型与植被恢复分区[J].林业科学,2003,39(4):16-25.

[10] 米艳华,陆 琳,陈艺齐,等.干热河谷区农业种植模式的资源利用率研究[J].西南农业学报,2011,24(1):61-67.

[11] 张建平,王道杰,杨 忠,等.元谋干热河谷区森林消长与生态环境变化研究[J].中国沙漠,2001,21(1):79-85.

[12] 杨艳鲜,纪中华,沙毓沧,等.元谋干热河谷区旱坡地生态农业模式的水土保持效益研究[J].水土保持学报,2006,20(3):70-75.

[13] 周红艺,熊东红,杨 忠.元谋干热河谷土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].农业工程学报,2008,24(3):135-140.

[14] 何锦峰,苏春江,舒 兰,等.基于 3S 技术的金沙江干热河谷区 LUCC 研究—以云南省元谋县为例[J].山地学报,2009,27(3):341-348.

[15] 张信宝,杨 忠,张建平.元谋干热河谷坡地岩土类型与植被恢复分区[J].林业科学,2003,39(4):17-26.

[16] 王克勤,沈有信,陈奇伯,等.金沙江干热河谷人工植被土壤水环境[J].应用生态学报,2004,15(5):809-813.

(上接第 77 页)

[14] De R, Kar R K. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*) under water stress induced by PEG-6000[J]. Seed Science and Technology, 1995,23(2):301-308.

[15] Singh M, Singh B B. Effect of iso-osmotic levels of salts and PEG-6000 on enzymes in germinating pea seeds[J]. Biologia Plantarum, 1992,34(5-6):415-422.

[16] 张 霞,谢小玉.PEG 胁迫下甘蓝型油菜种子萌发期抗旱鉴定指标的研究[J].西北农业学报,2012,21(2):72-77.

[17] 李培英,孙宗玖,阿不来提.PEG 模拟干旱胁迫下 29 份偃麦草种质种子萌发期抗旱性评价[J].中国草地学报,2010,32(1):32-39.

[18] 胡卉芳,王照兰,杜建材,等.PEG 胁迫下不同品系扁蓿豆种子的萌发特性[J].草原与草坪,2010,30(3):74-77.

[19] 孙建华,王彦荣,余 玲,等.聚乙二醇引发对几种牧草种子发芽率和活力的影响[J].草业学报,1999,8(2):34-42.

[20] 秦文静,梁宗锁.四种豆科牧草萌发期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J].草业学报,2010,19(14):61-70.

[21] 许耀照,曾秀存,王勤礼,等.PEG 模拟干旱胁迫对不同黄瓜品种种子萌发的影响[J].中国蔬菜,2010,(14):54-59.

[22] 赵丽丽,王照兰,杜建材,等.扁蓿豆不同种质材料种子萌发期抗旱性比较[J].种子,2007,26(12):13-16.

[23] 蔡丽艳,李志勇,孙启忠,等.扁蓿豆萌发对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J].草业科学,2012,29(10):1553-1559.

[24] 王 赞,李 源,吴欣明,等.PEG 渗透胁迫下鸭茅种子萌发特性及抗旱性鉴定[J].中国草地学报,2008,30(1):50-55.

[25] 张灿军,王育红,姚宇卿,等.早稻抗旱性鉴定方法与指标研究—Ⅱ抗旱性鉴定评价技术规范[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):37-39.