不同水分条件下干旱区葡萄园土面蒸发试验研究*

王 新[1,2] 刘洪波[3,4] 张江辉[4†] 白云岗[4] 虎胆·吐马尔白[3]

(1 西安理工大学水资源研究所,西安 710048)

(2 新疆水利厅,乌鲁木齐 830000)

(3 新疆农业大学水利与土木工程学院,乌鲁木齐 830052)

(4 新疆水利水电科学研究院,乌鲁木齐 830049)

EXPERIMENTAL STUDY ON SOIL EVAPORATION IN VINEYARDS DIFFERENT IN SOIL MOISTURE IN ARID REGION

Wang Xin[1,2] Liu Hongbo[3,4] Zhang Jianghui[4†] Bai Yungang[4] Hudan·Tumaerbai[3]

(1 *Water Resources Institute, Xi'an University of Technology, Xi'an* 710048, *China*)

(2 *Xinjiang Water Resources Bureau, Urumqi* 830000, *China*)

(3 *College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi* 830052, *China*)

(4 *Xinjiang Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumqi* 830049, *China*)

关键词 葡萄;水分处理;土面蒸发

中图分类号 S152.7 **文献标识码** A

吐哈盆地是中国著名葡萄生产基地,也是严重资源性缺水的极端干旱区。在农田水分循环过程中,葡萄棵间土面蒸发是水分散失的一个重要环节。准确测定葡萄灌溉期棵间土面蒸发量及变化规律,对于葡萄园采用科学的节水措施及制定合理的灌溉制度具有重要的意义。微型蒸发器(Micro-lysimeters, MLS)是测定土壤蒸发既简单又非常有效的仪器[1]。国内外很多学者都曾利用微型蒸渗仪观测土面蒸发[2-5]。王健等[6]利用大型称重式蒸渗仪和小型棵间蒸发器的测定资料,研究了不同灌溉定额条件下夏玉米生长期间的逐日蒸发蒸腾和棵间蒸发过程,得出充分灌溉和非充分灌溉条件下棵间蒸发占蒸发蒸腾的比例与叶面积指数的相关系数分别达到 0.85 和 0.77 以上。高阳等[7]、刘钰等[8]采用微型蒸渗仪测定了玉米/大豆不同间作模式下不同位置处的土面蒸发量并研究了麦田与裸地土面蒸发强度的方法,分析了相对土面蒸发强度与土壤含水率及叶面积指数的关系。然而,关于极端干旱区葡萄土面蒸发规律的研究还很少,因此,对该地区进行土面蒸发的研究,探讨在不同水分处理下葡萄园的水分消耗转化关系是非常必要的。

本试验针对吐哈盆地极端干旱的气候特征,在忽略降雨影响的情况下,通过对葡萄园在不同水分条件下不同位置上土面蒸发量的测定,对葡萄棵间土面蒸发规律进行了研究,为能准确估算农田土壤水分动态变化过程,制定合理的灌溉制度及采取针对性的节水措施,尽可能减少无效的棵间蒸发损失提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验条件

试验地点位于新疆吐鲁番地区鄯善县的新疆

* 国家水利部公益性行业科研专项(201001066)、国家科技支撑计划项目(2011BAD29B05)和新疆自治区科技攻关项目(200931105)资助

† 通迅作者,张江辉(1963—),男,陕西兴平人,研究员,主要从事农业水土工程研究。E-mail:skyzjh@163.net

作者简介:王 新,男,博士研究生,主要从事节水灌溉技术研究

收稿日期:2011-08-27;收到修改稿日期:2012-05-30

葡萄瓜果开发研究中心试验基地,地理坐标为:42°91′N, 90°30′E;海拔 419 m。年降雨量 25.3 mm,年蒸发量 2 751 mm,≥10℃以上积温为 4 522 ~ 5 548℃,全年日照时数 2 900 ~3 100 h,平均日间差为 14.3 ~15.9℃,最大可达 17 ~26.6℃,无霜期为 192 ~224 d。土壤质地主要为砾石沙壤土。葡萄品种为无核白,1981 年定植,树龄 28 a,大沟定植,东西走向,沟长 54 m,沟宽 1.0 ~1.2 m,沟深 0.5 m 左右;株距约 1.2 ~1.5 m,行距 3.5 m;栽培方式为小棚架栽培。

1.2　试验设计

试验采用地面滴灌灌溉方式,设高水(W_1,灌溉定额 14 775 $m^3\ hm^{-2}$)、中水(W_2,灌溉定额 7 950 $m^3\ hm^{-2}$)和低水(W_3,灌溉定额 5 850 $m^3\ hm^{-2}$)3 个不同的水分处理,灌水周期分别为 5 d、9 d 和 14 d,毛管布置是在栽培沟内布置一条滴灌带,距主根 40 cm,棚架下布置两条滴灌带,分别距主根 40 cm和 60 cm。对照(CK)为常规沟灌,灌溉定额采用当地常规生产灌溉量为 27 000 $m^3\ hm^{-2}$。共设 4 个试验处理,每个处理设 2 个重复,每个试验处理小区面积 0.028 hm^2。

1.3　测定指标

1.3.1　土面蒸发　　土面蒸发采用微型蒸渗仪直接测定。微型蒸渗仪采用 PVC 管制成,内径 10 cm、深度为 20 cm。为保证操作时不破坏附近土体结构,用内径为 12 cm 的 PVC 管做成外套,并固定于土壤中,且其表面与附近土壤持平。每个处理采用 3 个微型蒸渗仪,分别置于沟、坡、垄不同干湿位置,记录生育期的不同位置的土面蒸发量。采用精度为 0.1 g 的电子天平称重,称重后将其放回套筒中,每天在 20:00 定时称重一次,两日称重的差值为当日蒸发量,三个蒸发皿折算出的平均蒸发量代表该处理的蒸发强度。蒸渗仪中的土在每次灌水过后更换一次,换土时将蒸发器周围土壤装入内筒中。

1.3.2　土壤含水率　　土壤含水量采用 CNC-503D 型中子仪定期监测。于每次灌水后测定土壤含水量。此外,在各个生育期选择一个灌水周期进行连续测定,观测不同处理 0 ~20、20 ~40、40 ~60、60 ~80、80 ~100 cm 深度上的田间土壤含水率。

1.3.3　气象因子　　监测仪器选用的美国 COMPBELL 公司生产的气象监测系统,主要观测项目包括辐射、大气温度、大气相对湿度、平均饱和水气压、风速等,系统全天候自动观测,20 min 观测一次。

1.3.4　叶面积　　每个处理选取三株长势均匀的葡萄蔓,每个蔓从底部至梢部选取三个枝条,定期测定每个蔓的枝条数及所选枝条的中脉长、叶片数和枝条数,计算出该蔓的叶面积,三个蔓的平均值代表该处理每株葡萄的叶面积。

2　结果与分析

2.1　叶面积指数(LAI)的变化

不同水分处理叶面积指数变化如图 1 所示。从图 1 中可看出,在葡萄展叶初期至中期(5 月 15 日),高水处理的叶面积指数最大,中水次之,低水最小,其 LAI 值分别为 2.8、2.4 和 2.0。从葡萄展叶期中期开始直到葡萄果实膨大期中期(7 月 11 日),各水分处理的叶面积指数均呈上升趋势,且在果实膨大期(6 月 21 日 ~7 月 11 日)上升幅度最大。在此期间,中水处理的叶面积指数最大,高水居中,低水最小,其 LAI 最大值分别是 7.2、6.5 和 5.7。从 7 月 11 日往后,各水分处理的叶面积指数开始下降,其叶面积指数仍为中水最大,低水最小,高水居中。

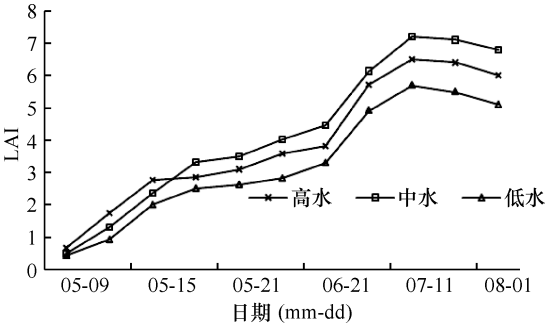

图 1　不同水分处理的叶面积指数变化

2.2　土面蒸发的变化

图 2 给出了不同水分处理下不同位置上土面蒸发逐日变化。从图 2 中可看出,在葡萄开墩后,当叶面积指数较小时(LAI <3),不同位置上的土面蒸发相差不大,其中中水处理不同位置上的土面蒸发相差最大,低水最小。随着叶面积的增大,其不同位置上土面蒸发的差值也随之变化,各水分处理中均为坡的土面蒸发最大,沟次之,垄的土面蒸发最低。

图 3 是不同水分处理的平均土面蒸发逐日变

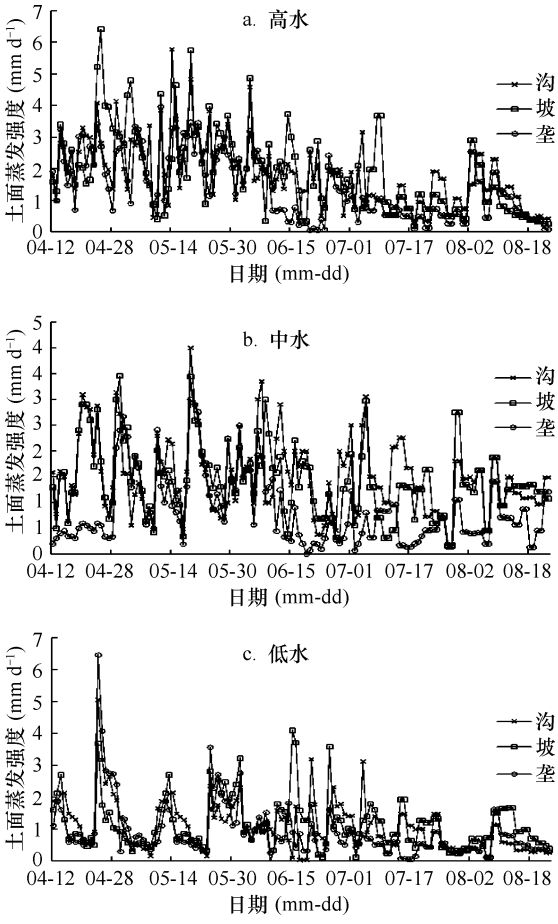

图 2 不同水分处理不同位置处土面蒸发逐日变化

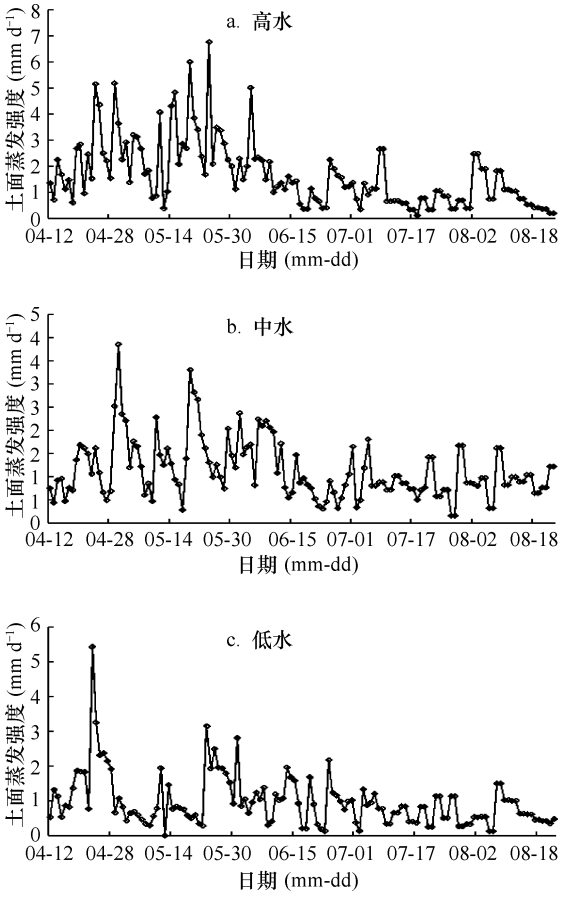

图 3 不同水分处理土面蒸发逐日变化

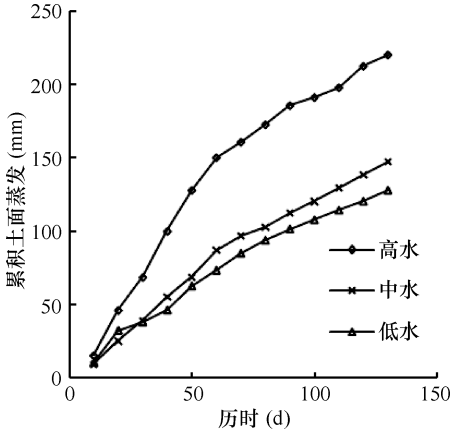

图 4 不同水分处理累积土面蒸发

化。在葡萄开墩至展叶前期(LAI < 3),各处理间的日平均土面蒸发相差较小,此后,随着处理间LAI 差异的加大,处理间日平均土面蒸发差值变大。高水处理的土面蒸发值高于中水和低水,高、中低水三种水分处理的差值最大分别为 6.64、3.69、5.23 mm。从累积土面蒸发量来看,高水处理的累积土面蒸发值明显大于中水和低水处理,低水处理的累积土面蒸发值最小。高、中、低三种水分处理的累积土面蒸发值分别为 221.7、151.6 和 129.8 mm。(图 4)。

不同水分处理各生育期不同位置上的土面蒸发强度如表 1 所示,从表中可知,在葡萄从萌芽期至果浆成熟期的生育期内,不同位置上的土面蒸发强度均呈现由大到小的变化规律,且坡的蒸发强度高于沟和垄。高水处理的土面蒸发强度在各个生育期均大于中水和低水处理,其中中水和低水处理在花期的土面蒸发强度高于新梢生长期的土面蒸发强度,随后开始减小。

2.3 土壤表层含水量与土面蒸发的关系

通过自动气象站的数据采集,利用联合国粮食与农业组织(FAO)推荐的 Penman-Monteith 公式计算参考作物需水量 ET_0[9]。由于试验田为戈壁砾石改良区,土质不均一,栽培沟下面 0 ~ 50 cm 范围内为砂壤土,并含有少量石砾,50 cm 以下为

表 1　不同水分处理各生育期不同位置土面蒸发强度(mm d^{-1})

处理	位置	生育期				
		萌芽期	新梢生长期	花期	果实膨大期	果浆成熟期
高水	沟	2.64	2.62	2.10	1.62	1.17
	坡	3.10	2.74	2.48	1.81	1.22
	垄	2.31	2.38	1.72	0.84	0.60
中水	沟	2.01	1.54	1.64	1.42	1.16
	坡	2.04	1.68	1.95	1.43	1.34
	垄	1.47	1.46	1.58	0.53	0.55
低水	沟	1.83	1.13	1.25	1.03	0.77
	坡	1.98	1.13	1.48	1.28	0.94
	垄	1.23	1.07	1.23	0.72	0.52

砂质土,含有较多石砾,而土壤表层受光照及气象影响最大,因此对葡萄园在不同水分条件下表层土壤 0 ~ 20 cm 深度的相对土壤蒸发与含水量的关系如图 5 所示,两次灌水周期内(6 月 28 日—7 月 7 日、7 月 20 日—7 月 26 日)的田间相对土面蒸发强度E/ET_0与表层 0 ~ 5 cm 土壤含水量(θ)的关系。从中可看出,相对土面蒸发强度与 0 ~ 5 cm 土层土壤含水量的相关性达到极显著,相关系数为 0.995 1,相对土面蒸发强度随着土壤含水量的增大而增大。

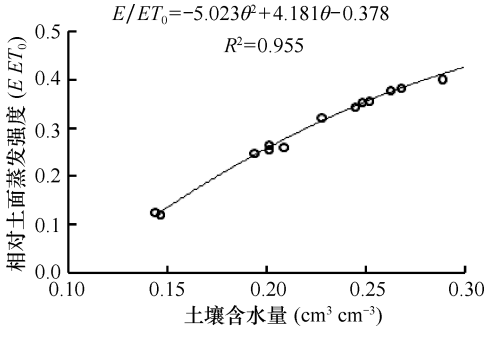

图 5　相对土面蒸发强度与土壤含水量的关系

同理,可得出E/ET_0与 5 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土层土壤含水量的关系:

5 ~ 10 cm 土层:

$$E/ET_0 = -23.76\theta^2 + 12.28\theta - 1.290, \quad R^2 = 0.959 \tag{1}$$

10 ~ 20 cm 土层:

$$E/ET_0 = -15.41\theta^2 + 6.178\theta - 0.335, \quad R^2 = 0.909 \tag{2}$$

从图 5 及式(1)和式(2)可知,相对土面蒸发强度均随土壤含水量的增加而增加。随着土层深度的增加,相对土面蒸发强度与土壤含水量的相关系数降低,且相对土面蒸发强度在土壤含水量小于 0.22 时随土壤含水量增加而增大的速率较小,当土壤含水量大于 0.22 时,相对土面蒸发强度随含水量增加而增大的速率加大。

2.4　土面蒸发强度与土壤耗水强度的关系

图 6 为三种不同水分处理在不同生育期内的土壤耗水强度。可见,三种不同水分处理在生育期内的土壤耗水强度整体上呈现从大到小的规律,其中,在新梢生长期到果实膨大期的土壤耗水强度变化不大。三种水分处理中高水处理的土壤耗强度最大,中水次之,低水最小。这是由于三种不同水分处理中,高水的灌溉定额最大,灌水次数最多,而低水的灌溉定额最小,灌水次数也最少,从而导致高水处理的土壤含量大于其他两种水分处理,同时其土壤耗水量也相应高于中水和低水处理。

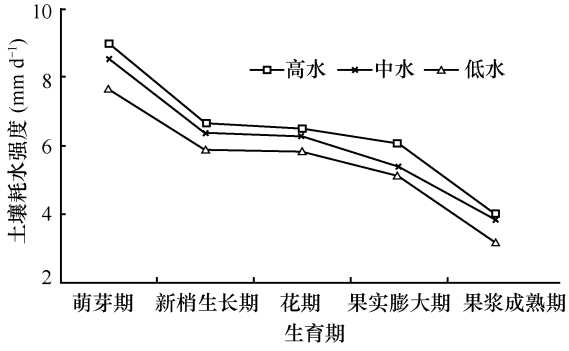

图 6　各水分处理不同生育期内土壤耗水强度

三种不同水分处理的土面蒸发强度与土壤耗水强度之间呈显著相关关系,其中中水和低水处理呈极显著相关关系,分别为 0.910 和 0.968。各水

分处理的土面蒸发强度均随着土壤耗水强度的增大而增大,降低而降低,二者之间呈幂函数关系,具体的回归方程及土面蒸发强度占土壤耗水强度的比例见表2。

表2 葡萄生育期内土面蒸发强度与土壤耗水强度的关系

生育期	高水			中水			低水		
	比例(%)	回归方程	相关系数	比例(%)	回归方程	相关系数	比例(%)	回归方程	相关系数
萌芽期	28.9			20.2			20.3		
新梢生长期	38.1			24.7			20.0		
花期	30.9	$y=4.640x^{0.548\,5}$	0.795	27.2	$y=4.805x^{0.939\,1}$	0.910	22.4	$y=4.964x^{1.042\,2}$	0.968
果实膨大期	20.7			17.5			18.3		
果浆成熟期	22.0			23.0			21.7		

注:表中 y 为耗水强度,x 为土面蒸发强度,单位均为 mm d^{-1}

2.5 叶面积指数与土面蒸发的关系

叶面积指数为植物冠层表面物质、能量交换的描述提供结构化的定量信息,是估计植物冠层功能的重要参数,也是生态系统中最重要的结构参数之一[10]。其中高水处理相对土面蒸发强度(E/ET_0)与叶面积指数(LAI)的关系如图7所示。

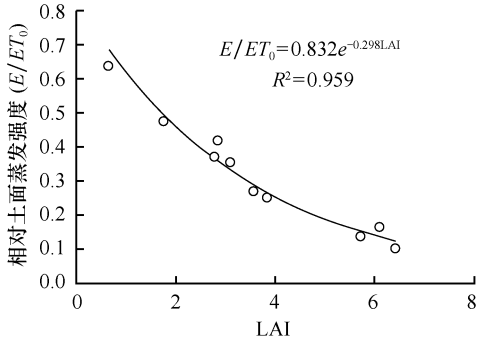

图7 不同水分处理下相对土面蒸发强度与叶面积指数的关系

同理,可得出高水处理和低水处理的 E/ET_0 与叶面积指数的关系:

高水处理:

$$E/ET_0=1.048e^{-0.319\,LAI},\quad R^2=0.977\,3 \qquad (3)$$

低水处理

$$E/ET_0=0.827e^{-0.44\,LAI},\quad R^2=0.962\,9 \qquad (4)$$

从图5及式(3)和式(4)可知,各水分处理的相对土面蒸发强度与叶面积指数均呈极显著相关关系。相对土面蒸发强度随叶面积指数的增加而降低,呈指数递减规律,在观测期内,当叶面积指数大于4时,E/ET_0 随叶面积指数的增大而减小的幅度较小。

3 结 论

1) 叶面积指数从展叶期到葡萄果实膨大期中期(7月11日)均呈增大趋势,中水处理的叶面积指数最大,高水居中,低水最小,其LAI最大值分别为7.2、6.5和5.7,果实膨大期中期之后开始下降。

2) 各水分处理不同位置上的土面蒸发受滴灌带布置方式及葡萄受阳光射区域的影响表现为坡的土面蒸发最大,沟次之,垄的土面蒸发最低;不同水分处理平均土面蒸发当叶面积指数LAI<3时,各处理间的日平均土面蒸发相差较小,此后,随着处理间LAI差异的加大,处理间日平均土面蒸发差值变大;各水分处理在生育期内不同位置上的土面蒸发强度呈现由大到小的变化规律;高、中、低三种水分处理的逐日累积土面蒸发值分别为221.7mm、151.6mm和129.8 mm。

3) 棵间相对土面蒸发强度与表层0~20 cm深度土壤含水量关系密切,其中与0~5 cm土层深度的土壤含水量相关关系达到极显著,不同土层深度上相对土面蒸发强度均随土壤含水量增加而增大,呈二次递增规律。

4) 土壤耗水强度在生育期内整体上呈现从大到小的变化规律,在新梢生长期至果实膨大期的土壤耗水强度变化不大,三种水分处理的土壤耗水强度大小顺序为高水、中水和低水。土面蒸发强度与土壤耗水强度之间呈显著相关关系,各水分处理的土面蒸发强度均随着土壤耗水强度的增大而增大,降低而降低,二者之间呈幂函数关系。

5) 叶面积指数与相对土面蒸发强度呈极显著相关关系,叶面积指数是影响土面蒸发的重要指标,相对土面蒸发强度随叶面积指数的增加而降

低,呈指数递减规律。

参 考 文 献

[1] 孙宏勇, 刘昌明, 张永强,等. 微型蒸发器测定土面蒸发的试验研究. 水利学报,2004(8):114—118

[2] Boast C W, Robertson T M. A'micro-lysimeter' method for determining evaporation from bare soil: Description and laboratory evaluation. Soil Science Society of America Journal, 1982, 46: 689—696

[3] 孙景生, 康绍忠, 王景雷,等. 沟灌夏玉米棵间土壤蒸发规律的试验研究. 农业工程学报,2005,21(11):20—24

[4] 王健, 蔡焕杰, 刘红英. 利用 Penman-Monteith 法和蒸发皿法计算农田蒸散量的研究. 干旱地区农业研究,2002,20(4):63,67—71

[5] 谢平, 陈晓宏, 刘丙军,等. 参考作物腾发量与蒸发皿蒸发量的变化特征及变化原因分析. 灌溉排水学报, 2008, 27(5):14—17

[6] 王健, 蔡焕杰, 康燕霞,等. 夏玉米棵间土面蒸发与蒸发蒸腾比例研究. 农业工程学报,2007,23(4):17—22

[7] 高阳,段爱旺,刘祖贵,等. 玉米/大豆不同间作模式下土面蒸发规律试验研究. 农业工程学报,2008,24(7):44—48

[8] 刘钰,Fernando R M, Pereira L S. 微型蒸发器田间实测麦田与裸地土面蒸发强度的试验研究. 水利学报,1999(6):45—50

[9] Walker S, Ogindo H O. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. Physics and Chemistry of the Earth, 2003, 28: 919—926

[10] 杜春雨,范文义. 有效叶面积指数与真实叶面积指数的模型转换. 东北林业大学学报,2010,38(7):126—128