

# 吐鲁番地区成龄葡萄滴灌水分利用效率研究

韦东<sup>1</sup>, 卢震林<sup>2</sup>

(1. 新疆吐鲁番市水利科学研究所, 新疆吐鲁番 838000; 2. 新疆水利水电科学研究院, 新疆乌鲁木齐 830049)

**摘要** [目的]研究吐鲁番地区成龄葡萄滴灌水分利用率。[方法]采用对比法,共设6个处理,研究吐鲁番地区成龄葡萄滴灌条件下产量、边际产量、水分利用与耗水量效率之间的关系,并拟合了葡萄产量、水分利用效率与全生育期耗水之间的关系。[结果]葡萄水分利用效率和产量与耗水量均呈二次抛物线关系,吐鲁番地区成龄葡萄合理耗水区间为783~905 mm。[结论]葡萄产量、水分利用效率与全生育期耗水之间的相关性较高,可定量描述吐鲁番地区成龄葡萄滴灌条件下葡萄产量、水分利用效率与全生育期耗水的关系。

**关键词** 水分利用效率;葡萄;产量;耗水量

**中图分类号** S607<sup>+</sup>.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)21-041-03

## Study on Water Use Efficiency of Drip Irrigation for Mature Grapes in Turpan

WEI Dong<sup>1</sup>, LU Zhen-lin<sup>2</sup> (1. Turpan City Water Resources Research Institute of Xinjiang, Turpan, Xinjiang 838000; 2. Xinjiang Research Institute of Water Resources and Hydropower, Urumchi, Xinjiang 830049)

**Abstract** [Objective] To study water use efficiency of drip irrigation for mature grapes in Turpan. [Method] Comparison method was used to analyze the relation between yield, marginal yield, water use, and water consumption efficiency of drip irrigation for mature grapes in Turpan. Besides, the relation between grape yield, water use efficiency and water consumption in the whole growth period was fitted. [Result] The water use efficiency of grape and the yield, water consumption presents quadratic parabola relationship, the reasonable water consumption range is 783-905 mm for mature grapes in Turpan. [Conclusion] There is high correlation between grape yield, water use efficiency and water consumption in the whole growth period. It is able to make a quantitative description of the relation between grape yield, water use efficiency and water consumption in the whole growth period in drip irrigation condition for mature grapes in Turpan.

**Key words** Water use efficiency; Grapes; Yield; Water consumption

吐鲁番地区具有优越的光热条件和独特的气候环境,但由于该地区年平均降水量不足30 mm,农业发展对水资源的需求依赖于有限的山区径流和地下水的灌溉。水资源短缺是影响吐鲁番盆地生态平衡及制约国民经济持续稳定发展的关键因素<sup>[1-2]</sup>。葡萄是吐鲁番地区种植面积最大、产量最高的优势经济作物,占地区当年农民收入的60%左右,是吐鲁番地区农业经济的主导产业<sup>[3-4]</sup>。同时,葡萄是吐鲁番的特色支柱产业,葡萄种植的耗水量占农业耗水量的90%左右<sup>[5]</sup>。滴灌是农田灌溉最节水的灌溉技术之一。葡萄滴灌技术是在葡萄灌溉过程中,水通过铺设在地表毛管上的灌水器缓慢渗入土壤,再借助毛细管作用和重力扩散到整个葡萄根域的灌溉技术。该技术具有省工节水,降低能耗;减少土壤水分养分流失,提高肥料利用率;减少病害,促进葡萄优质高产等优点<sup>[6]</sup>。

水分利用效率(Water Use Efficiency, WUE)是节水农业研究的关键指标,高水平的WUE是缺水条件下农业持续稳定发展的关键所在。各种节水技术、节水措施的应用,归根结底是为了提高水分利用效率<sup>[7]</sup>,因此,WUE被公认为考量节水技术应用水平的重要指标。国内外学者对作物水分利用效率进行了大量研究<sup>[8-11]</sup>。从研究层次来看,作物水分利用效率分为叶片水平的水分利用效率、作物群体水平的水分利用效率和作物产量水平的水分利用效率3个层次。从研究内容来看,不仅研究了作物因素、水文年型、土壤水分状况、灌溉、地力等环境因素与作物水分利用效率的关系,还研究了水肥耦合作用对提高水分利用效率的影响。从研究对

象来看,对冬小麦、玉米的水分利用效率研究较多<sup>[12]</sup>。葡萄作为吐鲁番地区农业发展的主要经济作物,其生产效益直接关系到农民的收入水平,同时影响着农业经济的发展和稳定。随着成龄葡萄滴灌技术在吐鲁番地区的大面积推广,研究葡萄滴灌条件下水分利用效率对于当地节水农业的进一步开展具有指导意义。笔者研究了成龄葡萄滴灌条件下产量水平的水分利用效率,以期对葡萄生产的可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 试验地点位于吐鲁番地区火焰山以南,吐鲁番市东南部的葡萄乡铁提尔村,地理坐标为89°13' E, 42°56' N,海拔-68.8 m。土壤为黏壤土,质地较均一。年均降雨量为16.6 mm,年均蒸发量为3 300 mm,地下水位距地表30 m左右,年均气温为14.4 °C,多年最高气温、最低气温分别为48.3、-28.8 °C,10 °C以上活动积温达5 455 °C,全年年均日照时数为3 095 h,无霜期达210 d。

**1.2 试验材料** 葡萄品种为无核白(*Thompson Seedless*),中晚熟品种,大于10 °C活动积温为3 300 °C左右。大部分葡萄从1998年开始定植,栽培沟为东西走向,沟长为60 m,沟宽为1.0~1.2 m,沟深约为0.5 m;株距为1.2~1.5 m,行距3.5~4.5 m,栽培方式为小棚架栽培。以沟面为参考面,棚架前段高2.0 m,后端高0.8 m,平均高1.2 m。

**1.3 试验设计** 滴灌带布置方式为一沟三管,滴头流量为2.7 L/h,滴头间距40 cm。试验采用对比法,根据不同灌水周期滴灌共设置6个处理:高水、中水、低水、组合1、组合2、组合3。每处理2个重复。高水、中水和低水3个需水处理的灌水周期分别为4.5、9.0、13.5 d;组合1在关键期和非关键期的灌水周期为4.5和9.0 d;组合2在关键期和非关键期的灌水周期为4.5和13.5 d;组合3在关键期和非关键期的

**基金项目** 新疆自然科学基金项目(2014211A050)。

**作者简介** 韦东(1975-),男,新疆吐鲁番人,工程师,从事水资源高效利用研究。

**收稿日期** 2016-05-09

灌水周期为9.0和13.5 d。灌水定额均为525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。各处理布设方式见表1。

表1 各试验处理的布设方式

Table 1 The layout way of treatment of drip irrigation experiment

处理 Treatment	灌水周期 Irrigation cycle//d		灌水定额 Irrigated water volume//m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	灌溉定额 Irrigation volume//m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	滴灌带参数 Parameter of drip irrigation tape	
	关键期 Key period	非关键期 Non-key period			滴头流量 Dripper flowrate L/h	滴头间距 Dripper spacing cm
高水 High water	4.5	4.5	525	10 950	2.7	40
组合1 Combination 1	4.5	9.0	525	9 150		
组合2 Combination 2	4.5	13.5	525	6 900		
中水 Medium water	9.0	9.0	525	7 800		
组合3 Combination 3	9.0	13.5	525	6 000		
低水 Low water	13.5	13.5	525	5 550		

**1.4 测定项目与方法** 采用TRIME-IPH土壤剖面水分测量系统定点定位监测各处理土壤含水量,试验期间定期采用取土烘干法标定。一般5~7 d测1次,测量深度0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm。试验期间灌水前后加测数次或连续定点观测1个灌水周期。测定产量时采用样方法,每个处理挑选3个长势均匀4 m×4 m的小区,分别在每个小区摘取较均匀的9串果穗,称取每串果穗的鲜质量,求均值,再对每个小区的果穗总数进行统计,计算每个小区产量。单位产量=(果穗均重×果穗总数/小区面积)×单位面积。以3个小区单位产量的均值代替葡萄园单位产量。

## 2 结果与分析

**2.1 吐鲁番地区成龄葡萄滴灌水分利用效率** 产量水平上的水分利用效率即单位耗水量的产量。产量采用实际测产的结果,耗水量包括葡萄蒸腾和土面蒸发。葡萄水分利用效率定义为葡萄产量(Y)与葡萄园耗水量(ET)的比值,即:

$$WUE = Y/ET \quad (1)$$

葡萄耗水量计算根据《灌溉试验规范》(SL13—2004)<sup>[13]</sup>计算:

$$ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i2} - \theta_{i1}) + M + P + K - C \quad (2)$$

式中,ET<sub>1-2</sub>为阶段耗水量,mm;γ<sub>i</sub>为第i层土壤干容重,g/cm<sup>3</sup>;H<sub>i</sub>为第i层土壤厚度,cm;θ<sub>i1</sub>、θ<sub>i2</sub>为第i层土壤在计算时段始末的含水率(干土重的百分率);M、P、K、C分别为时段内灌水量、降雨量、地下水补给量和排水量,mm。

由于吐鲁番地区年降雨量仅为16.6 mm,式(2)中降雨量P可以忽略;试验点地下水埋深约80 m,对分析范围几乎没有影响,因此式(2)中K也可以忽略;灌溉水全部渗入地下,并无排水,因此可忽略式(2)中C,上式可以简化为:

$$ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (\theta_{i2} - \theta_{i1}) + M \quad (3)$$

由式(1)计算的葡萄耗水量及由式(3)计算的葡萄水分利用效率见表2。

表2 葡萄耗水量及水分利用效率

Table 2 Water consumption and water use efficiency of grapes

处理 Treatment	灌溉定额 Irrigation volume m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	耗水量 Water consumption//mm					产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	水分利用效率 Water use efficiency kg/m <sup>3</sup>
		展叶期 Leaf- expansion period	果粒膨大期 Fruit expansion period	果粒成熟期 Fruit mature period	枝蔓成熟期 Branches and tendrils mature period	全生育期 Whole growth period		
高水 High water	12 450	305	403	150	282	1 139	57 900	5.08
组合1 Combination 1	10 650	219	426	138	292	1 075	65 790	6.11
中水 Medium water	9 300	162	375	130	220	886	73 770	8.32
组合2 Combination 2	8 400	196	236	125	252	809	72 675	8.98
组合3 Combination 3	7 500	132	288	83	217	720	65 565	9.10
低水 Low water	7 050	149	229	86	213	676	56 715	8.38

**2.2 葡萄滴灌产量与水分利用效率的关系** 从图1可以看出,各处理以中水灌溉产量最大,中水处理的全生育期耗水量为886 mm,对应的产量达73 770 kg/hm<sup>2</sup>;高水和低水均不利于葡萄产量的形成,这是由于灌水过多,葡萄根系长期淹水,影响土壤气、热因子,从而影响葡萄正常生长,导致产量降低,而供水过少,葡萄受到水分胁迫而不能正常生长,也会导致葡萄产量的降低。因此,随着灌水量的增加,葡萄产量

表现出先增加后降低的二次抛物线规律。组合3处理的水分利用效率最大,达91.066 kg/(mm·hm<sup>2</sup>)。水分利用效率随着灌水量的增大,表现出先增大后降低的趋势,特别是高水处理,水分利用效率最低。

根据水分利用效率的定义,增加耗水量的同时提高葡萄产量,葡萄产量的增加幅度高于耗水量的增加幅度,可提高葡萄的水分利用效率。组合3处理的灌水量大于低水处理,

组合 3 处理的产量大于低水处理,组合 3 处理产量的增加幅度高于耗水量的增加幅度,与低水处理相比,组合 3 处理水分利用效率提高。当增加耗水量的同时产量提高,但产量的增加幅度低于耗水量的增加幅度,葡萄的水分利用效率降低。

组合 3、组合 2、中水处理的灌水量增加,葡萄的产量也增加,但葡萄产量增加的幅度低于葡萄耗水量增加的幅度,水分利用效率依次下降。高水、组合 1、低水处理的灌水量增加,葡萄的产量下降,水分利用效率下降。葡萄的水分利用效率与灌水量表现出二次抛物线规律。

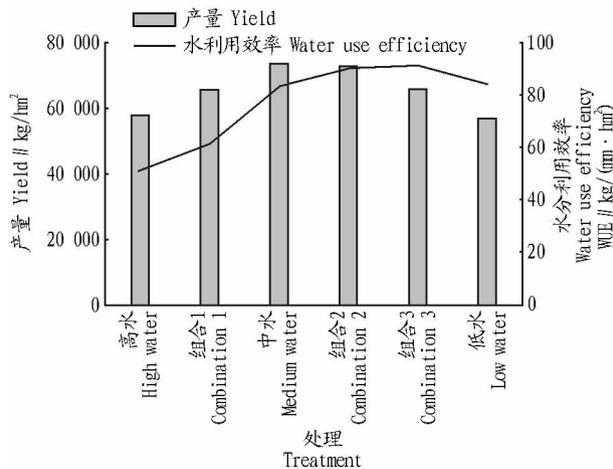


图 1 不同试验处理下产量和水分利用效率

Fig. 1 The yield and water use efficiency in different experiment treatment

**2.3 葡萄产量、水分利用效率、边际产量与耗水量的关系** 由于葡萄全生育期耗水量和灌水量相关程度较高,因此葡萄产量、水分利用效率与全生育期总耗水量呈良好的二次抛物线关系(图 2)。

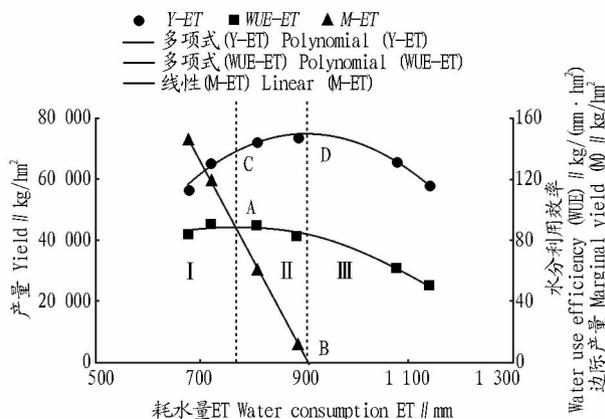


图 2 葡萄产量、水分利用效率、边际产量与耗水量的关系

Fig. 2 The relation between water consumption and yield, water use efficiency, and marginal yield of grapes

根据水分利用效率和耗水量的关系,可拟合两者之间回归方程:

$$WUE = -0.0003ET^2 + 0.4374ET - 79.33 \quad (4)$$

经相关性检验,相关系数达 0.9745,所拟合的公式满足相关性要求。根据水分利用效率和耗水量的关系,可拟合两者之间回归方程:

$$Y = -0.3196ET^2 + 579.4900ET - 187624 \quad (5)$$

经过相关性检验,相关系数达 0.9745,所拟合的公式满足相关性要求,可以用来定量描述葡萄耗水量与产量的关系。

当水分投入增加时所引起的产量变动率为边际产量,可以用产量与耗水量的一阶导数求解。根据式(5)求解边际产量与耗水量的关系,表达式见下:

$$M = -0.6392ET + 579.49 \quad (6)$$

式中,  $M$  为边际产量,指葡萄每多消耗 1 mm 的水所能增加的产量。边际产量随着灌水量增加直线下降,  $M - ET$  线与  $WUE - ET$  交于 A 点,与横轴交于 B 点, B 点对应的耗水量下葡萄可以获得最大产量。经过 A 点垂直于横轴的直线 AC 和经过 B 点垂直于横轴的直线 BD 将整个  $Y - ET$  曲线分成 3 个区间。从图 2 可以看出, I 区葡萄边际产量高于水分利用效率,继续灌水,水分利用效率提高,产量大幅增加。该区间为成龄葡萄滴灌易加大灌水区。 II 区葡萄边际产量小于水分利用效率,灌水增加,水分利用效率较低,但产量继续增加,为成龄葡萄滴灌耗水合理区间,经计算合理区间对应的耗水量为 783 ~ 905 mm。 III 区边际产量为负值,灌水量增加,水分利用效率降低,产量减少,为成龄葡萄滴灌耗水不合理区间。

### 3 结论

该研究结果表明,葡萄水分利用效率和产量与耗水量均呈较好的二次抛物线关系。通过分析吐鲁番地区成龄葡萄滴灌条件下耗水量、产量、边际产量、水分利用效率之间的关系,吐鲁番地区合理耗水区间为 783 ~ 905 mm。

### 参考文献

- [1] 张山清, 普宗朝, 宋良变. 吐鲁番地区气候变化对参考作物蒸散量的影响[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 532-537.
- [2] 傅小锋. 吐鲁番盆地水资源利用与绿洲经济发展探讨[J]. 地理研究, 1996, 15(1): 74-79.
- [3] 耿新丽, 程卫国, 骆强伟. 吐鲁番葡萄产业发展的现状与对策[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(S1): 145-147.
- [4] 竞中梅. 吐鲁番地区葡萄产业发展现状与思考[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(S1): 247-250.
- [5] 许文平, 王官富, 李亚利. 部分根域限制和微喷灌对干旱地区成龄葡萄生长发育的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒研究, 2010(11): 4-7.
- [6] 古丽孜叶, 哈力克, 马小才. 吐鲁番地区葡萄滴灌技术的优点[J]. 新疆农业科技, 2009(6): 189-190.
- [7] 王会肖, 刘昌明. 作物水分利用效率内涵及研究进展[J]. 水科学进展, 2000, 11(1): 99-105.
- [8] 唐登银, 罗毅, 于强. 农业节水的科学基础[J]. 灌溉排水, 2000, 19(2): 1-9.
- [9] 康绍忠, 刘晓民, 熊运章. 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
- [10] 西北农业大学农业水土工程研究所及农业部农业水土工程重点开放实验室. 西北地区农业节水与水资源持续利用[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [11] 山仑, 陈培元. 旱地农业生理生态基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [12] 胡顺军, 宋郁东, 周宏飞, 等. 塔里木盆地棉花水分利用效率试验研究[J]. 干旱区农业研究, 2002, 20(3): 66-71.
- [13] 中国灌溉排水发展中心, 水利部农田灌溉研究所. 灌溉试验规范: SL13-2004[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.