

砾石土质条件下葡萄滴灌生育期土壤 含水率变化规律研究

武慧芳, 刘学军, 陆立国, 顾靖超, 朱洁
(宁夏水利科学研究院, 宁夏 银川 750021)

摘要:为探究酿酒葡萄在砾石土质条件下的土壤含水率变化规律及合理灌溉制度,选取贺兰山东麓砾石土典型试验区,以五年生赤霞珠品种为研究对象,设计2 550、2 850、3 225、3 600 m³/hm² 4个不同定额的灌水处理,应用TDR土壤水分剖面仪和土壤水势仪,监测生育期滴灌前后不同土层含水率与水势变化,针对监测数据从灌水处理整体与单个生育期不同角度进行分析,研究酿酒葡萄在砾石土条件下不同滴灌定额土壤含水率变化规律,最终提出生育期适宜灌溉制度。研究表明:随着灌溉定额的增加,土壤含水率在0~40cm土层范围内变化较明显;不同深度土层土壤水势变化规律与灌溉定额的大小有关;1m深土壤水分蓄存比并不是随着灌水量的增加而增大,而是当灌水量达到某一定额时,随着灌水量的增加,土壤水分蓄存比减小,砾石土单次灌水量高于300 m³/hm²时,土壤水分蓄存比较低,易产生深层渗漏。

关键词: 土壤含水率; 土壤水势; 酿酒葡萄; 滴灌

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)05-0220-06

Research on variation rule of soil moisture content during growth period grape drip irrigation under condition of gravel soil

WU Huifang, LIU Xuejun, LU Ligu, GU Jingchao, ZHU Jie

(Ningxia Institute of Water Resources Research, Yinchuan 750021, China)

Abstract: To explore the change rule of soil moisture content and reasonable irrigation system of wine grape under the condition of gravel soil, this paper selected Helan mountain gravel soil as typical experimental zone, and took five years cabernet sauvignon as the research object. It designed four different quotas of irrigation treatment such as 2550, 2850, 3225, 3600 m³/hm², and applied TDR profiler on soil moisture and soil water potential instrument to monitor the different soil moisture content and water potential change during growth period before and after drip irrigation. According to monitoring data it analyzed from the perspective of different irrigation treatment during the whole and the individual fertility, and studied the change rule of soil moisture content of wine grape in gravel soil under different irrigation quota. It finally put forward the suitable irrigation system in growth period. The results show that with the increase of irrigation quota, the soil moisture content changes obviously within the scope of 0 to 40 cm soil layer; The change rule of water potential in soil layer of different depths related to volume of irrigation quota; the water accumulation of 1 m deep soil than does not increase with the increase of irrigation water, but when the amount of irrigation reaches a certain norm, the water accumulation of soil decrease with the increase of irrigation water. The water accumulation of soil is low and easy to produce deep seepage when the single amount of irrigation in gravel soil is higher than 300 m³/hm².

Key words: soil moisture content; soil water potential; wine grape; drip irrigation

宁夏贺兰山东麓以其得天独厚的地理特征以及光照、气温、土质条件,成为国内酿酒葡萄著名原产

收稿日期:2016-08-15; 修回日期:2016-09-20

基金项目:水利部科技推广计划项目(TG1506)

作者简介:武慧芳(1989-),女,宁夏吴忠人,在读硕士研究生,助理工程师,研究方向为水工建筑物结构理论计算。

地^[1-2]。截止2015年,全区葡萄种植面积达 $4.1 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中酿酒葡萄面积 $3.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[3],然而该地区土壤贫瘠,干旱少雨,水分蒸发量大,经过多年的努力,灌溉方式逐步由大水沟灌向高效节水灌溉转变,截止2015年建设葡萄滴灌工程 $2.1 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。国内针对风沙土、壤土等土质酿酒葡萄滴灌水分变化规律已有较多研究,但针对砾石土质条件下的葡萄滴灌土壤含水率变化规律研究较少^[4-10]。本文在贺兰山东麓砾石土区,以五年生赤霞珠为研究对象,开展不同滴灌定额灌水处理的葡萄生育期土壤含水率变化规律研究,为宁夏贺兰山东麓葡萄生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于银川市西夏区镇北堡镇昊苑小产区志辉源酒庄公司,平均海拔1100~1200 m,年均降雨量200 mm,年均蒸发量1470 mm,全年日照时数在

2851~3106 h,日温差12~15℃,无霜期180 d左右,自然条件对于发展葡萄产业具有得天独厚的优势,适宜种植酿酒葡萄。经过多年的优良品种引进及特性研究,确定了以赤霞珠、霞多丽、美乐等为主的酿酒葡萄品种。本试验选取五年生赤霞珠,株距0.5 m,行间距4.0 m,采用“厂”字型整形方式。

1.2 土壤及地层结构

试验区土壤田间持水量为12.5%,土壤干容重 1.489 g/cm^3 ,土壤颗粒级配分析,颗粒 $>2 \text{ mm}$ 的砾石含量在39.82%,定义为砾石土,具体分析结果见表1。

1.3 试验方案设计

灌溉试验结合试验区砾石土质特性,设计生育期灌溉定额分别为2550、2850、3225、3600 m^3/hm^2 4个处理,处理1单次灌水量以 $150 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 为主,处理4单次灌水量以 $300 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 为主,处理2、处理3由150、225、300 m^3/hm^2 不同灌水量组合而成,葡萄着色期进行人为控水,以保证品质的提升,因此设计灌水量较少,具体设计见表2。

表1 土壤颗粒级配分析结果

| 级配情况 | 不同粒径的颗粒组成/mm | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|------------|--------|
| | >60 | 60~40 | 40~20 | 20~10 | 10~5 | 5~2 | 2~1 | 1~0.5 | 0.5~0.25 | 0.25~0.074 | <0.074 |
| 占总土重百分比/% | 0.00 | 10.00 | 10.25 | 6.59 | 4.58 | 8.40 | 7.34 | 19.90 | 13.84 | 16.35 | 2.75 |
| 大于该孔径质量百分比/% | 0.00 | 10.00 | 20.25 | 26.84 | 31.42 | 39.82 | 47.16 | 67.06 | 80.90 | 97.25 | 100.00 |

注:颗粒 $>2 \text{ mm}$ 的砾石超过1%定义为砾质土或砾石土,本试验中 $>2 \text{ mm}$ 的砾石含量在39.82%,为砾石土,土的不均匀系数 $C_u = 13.13$,曲率系数 $C_c = 0.676$,级配良好。

表2 灌溉制度设计表

| 处理 | 出土 | 灌溉制度设计表 | | | | | | | | | | m^3/hm^2 | | | |
|----|-----|---------|-----|-----|-------|-----|-----|------|-------|-----|-----|--------------------------|------|------|------|
| | | 萌芽期 | 开花期 | 初果期 | 果实膨大期 | 着色期 | 埋土 | 灌溉定额 | 生育期定额 | | | | | | |
| P1 | 450 | 225 | 225 | 300 | 300 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 600 | 3150 | 2550 | |
| P2 | 450 | 225 | 225 | 225 | 225 | 300 | 300 | 300 | 225 | 225 | 225 | 150 | 600 | 3450 | 2850 |
| P3 | 450 | 300 | 300 | 225 | 225 | 300 | 300 | 300 | 225 | 225 | 225 | 150 | 600 | 3825 | 3225 |
| P4 | 450 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 150 | 600 | 4200 | 3600 | |

2 结果与分析

本试验时间为2015年4-9月,主要对葡萄生育期内各处理灌溉前后不同深度土层土壤含水率以及土壤水势进行观测。由于不同流量的滴头对土壤水分下渗速度有直接的影响,从而影响土壤含水率分布^[11-13],试验选择处理3、处理4首部、中部、尾部分别对滴头流量进行监测。监测结果表明,试验田实测滴头流量平均值为2.6 L/h,计算滴灌的均匀度达到88%。

本文根据葡萄各生育期灌溉前后不同深度土层土壤含水率的变化,选取不同灌溉定额典型试验小

区,结合土壤剖面水分仪和土壤墒情水势仪实测数据,重点分析各生育期灌水定额设置的合理性,优化灌溉定额,最终提出酿酒葡萄在砾石土质条件下的合理供水次数与灌溉定额。其中土壤含水率分析过程中结合土壤蓄存水量与葡萄灌溉下限 $60\% \theta_f$ (7.5% ,其中 θ_f 为田间持水率)进行分析。

计算土层蓄存水量时,计算深度1 m、湿润比25%。土壤水势仪负压计读数在0~5 kPa范围内为水分太多、5~25 kPa时土壤水分适宜作物生长、25~35 kPa时土壤轻度缺水,能基本满足作物生长需要,负压高于35 kPa时土壤严重缺水,不适宜作物生长。

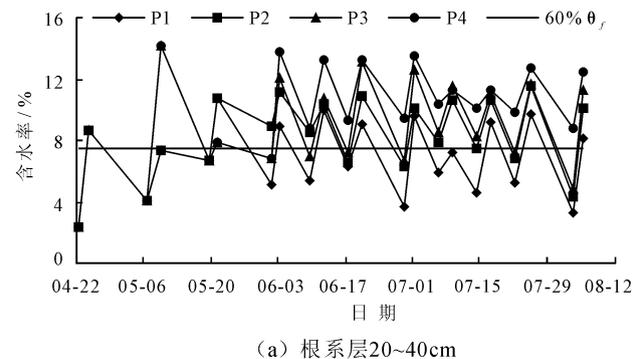
2.1 不同灌溉定额处理土壤含水率变化规律分析

选取葡萄植株主要根系层 20~40 cm、40~60 cm 土层,绘制不同灌溉定额处理土壤含水率变化曲线见图 1,曲线整体变化趋势呈先低后高锯齿形状发展,说明灌后土壤含水率高于灌前,且不同土层土壤含水率与灌溉定额大小成正比,即灌水量大土壤含水率曲线高;20~40cm 土层土壤含水率变化规律呈一致性较为剧烈的锯齿状发展,是由于上层土壤蒸发受温度、风速等外界因素影响较大,因此变化较剧烈;40~60 cm 土层土壤水分的主要消耗途径是作物的吸收与下渗,该土层处理 P1、P4 变化较平缓均是灌水量太少与太多的缘故,处理 P2、P3 灌溉前后土壤含水率变化剧烈是由于其灌溉定额贴近葡萄正常需水所造成的,使得灌溉水量得到最有效的利用。

2.2 不同灌溉定额下土壤水势变化曲线分析

绘制不同灌水处理 30、60 cm 土层土壤水势变化曲线见图 2,从曲线整体变化趋势可以看出,同一灌水处理灌前土壤水势高于灌后,随着灌溉定额的不断增大,各处理 30、60 cm 土壤水势呈一定规律变化,具体分析如下:

(1)处理 P1 在 7 月 22 日灌水之前,灌水前后



60 cm 土层土壤水势均高于 30 cm,且 60 cm 土层从 6 月 29 日开始土壤负压值已经接近严重缺水范围,分析原因是由于该处理各生育期灌水定额小,入渗到下层土壤中的水分也少,并且下层土壤水分被葡萄根系大量吸收消耗,到 7 月 22 日以后,60 cm 土层土壤水势开始低于 30 cm,分析原因是由于进入高温天气,30 cm 土层靠近地表,水分被蒸发,水势大幅度升高。

(2)处理 P2 灌前 60 cm 土壤水势小于 30 cm,灌后相近,分析原因是由于灌前 30 cm 土层土壤水分一部分被蒸发、另一部分被上层根系吸收、最后一部分下渗到下层土壤,而 60 cm 土层由于灌溉定额较处理 P1 高一些,该层水分能够满足葡萄根系需水,消耗剩余的水量较 30 cm 土层多。

(3)处理 P3 与 P4 土壤水势曲线变化规律基本一致,同为:灌前 30、60 cm 土层土壤水势相近,灌后 60 cm 大于 30 cm。分析原因是由于随着灌溉定额增大,灌前 30 与 60 cm 土层土壤含水都能满足作物的正常生长发育所需水量,在还未达到需水的时候就开始下一轮的灌溉,使得灌后上层土壤含水较高,水势小于 60 cm 土层。

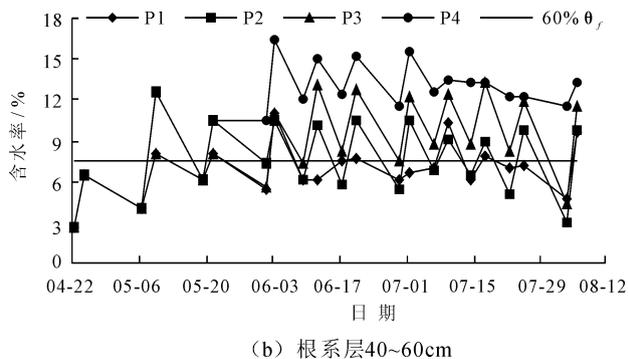


图 1 2015 年不同灌水处理土壤含水率变化曲线

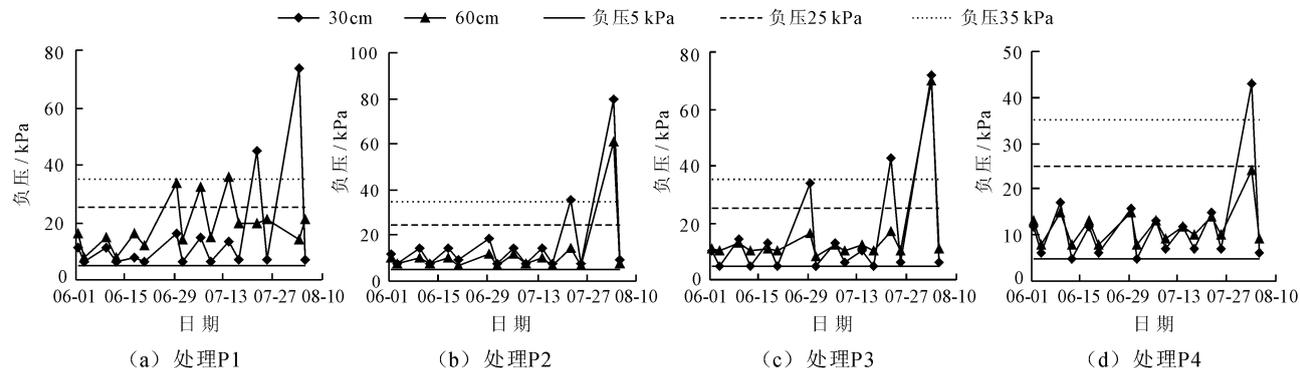


图 2 2015 年不同灌水处理 30cm、60cm 土层土壤水势变化曲线

2.3 单个生育期土壤含水率变化规律分析

(1)出土期。全生育期第 1 次灌水,灌溉时间

为 4 月 22 日 - 4 月 24 日,设计灌水定额为 450 m^3/hm^2 ,试验小区均采用同一设计方案,灌溉前后

不同土层深度的土壤含水率变化分析见表3。由于是生育期第1次灌水,因此灌前土壤干燥,不同深度土壤含水率均在3%以下,灌后不同深度土壤含水率较灌前明显上升,其中上层土壤(0~40 cm)含水率增幅较大约为7%;下层土壤(40~80 cm)含水率增幅相对较小,约为4%。但由于土壤大粒径的砾石较多,在湿润层1.0 m时土壤的水分蓄存比为42.14%,说明有大量的灌溉水渗漏到根系层以下,造成土壤水分流失,考虑到此次灌溉为葡萄出土后第1次灌水,为保证灌溉的充分,此次灌水量不予以调整。

(2) 萌芽期。萌芽期设计灌溉次数为2次,灌水定额为225和300 m³/hm²。全生育期第2次灌水时间为5月6日-5月9日,距上个生育期(出土期)灌溉时间间隔11 d,不同定额灌溉前后土壤含水率变化曲线见图3(a)、3(b)。灌前土壤含水量为2.6%~4%,当灌水定额为300 m³/hm²时,灌后各土层含水率均高于60% θ_f ,湿润深度达到1.0 m,其土壤水分蓄存比达到95%。灌水定额为225 m³/hm²时,灌后20~60 cm根系层土壤含水率在60% θ_f 左右,较为合理,但是土壤水分蓄存比仅为

56%,与300 m³/hm²定额相差较大,理论上在湿润层深度相同时,灌溉水量越低蓄存比越大,越不会造成深层渗漏,而试验监测数据分析,出现灌溉量高时蓄存比高、灌溉量低反而蓄存比低的现象。主要是土壤质地不均匀,部分试验小区土壤多为砂砾石,细颗粒含量较低,土壤的蓄存水能力较弱,造成大量灌溉水渗漏到1 m以下土层。由灌溉前后土壤含水率变化曲线可以看出,土壤含水率在0~40 cm土层范围内变化比较明显。

生育期第3次灌溉时间为5月19日-5月21日,距上次灌溉时间间隔9 d,由图3(c)、3(d)土壤含水率曲线可以看出:灌溉前不同深度土壤含水率均较高(除表层外,均大于6%),灌水定额为300 m³/hm²时的土壤水分蓄存比仅39%,绝大部分的灌溉水量都无法有效蓄存在土壤中,灌水定额为225 m³/hm²时土壤水分蓄存比为54%,因此225 m³/hm²的灌水定额较合适。

萌芽期,距出土期灌溉时间间隔11 d,灌水次数为2次,生育期内灌溉时间相距9 d,设计合理,分析后认为第2、3次灌水定额均为225 m³/hm²较为适宜。

表3 出土期试验小区灌溉前后土壤含水率变化分析

| 深度/cm | 计算深度/ m | 土壤含水率/% | | | 单层蓄水量/ (m ³ ·m ⁻²) | 土层蓄水量/ (m ³ ·hm ⁻²) | 灌水定额/ (m ³ ·hm ⁻²) | 蓄存比/% |
|--------|------------|---------|------|------|--|---|--|-------|
| | | 灌前 | 灌后 | 差值 | | | | |
| 0~20 | 0.2 | 2.31 | 9.73 | 7.42 | 0.0221 | | | |
| 20~40 | 0.2 | 2.42 | 8.7 | 6.28 | 0.0187 | 189.62 | 42.14 | |
| 40~60 | 0.2 | 2.61 | 6.42 | 3.81 | 0.0113 | | | |
| 60~100 | 0.4 | 2.1 | 6.08 | 3.98 | 0.0237 | | | |

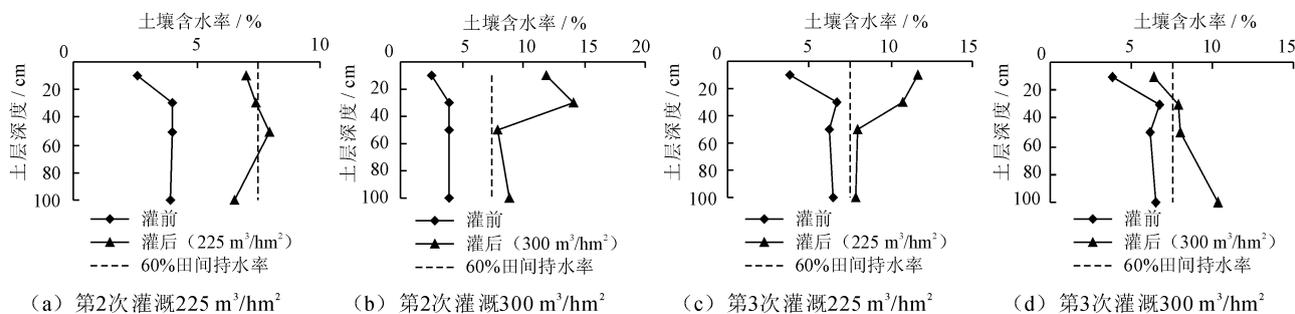


图3 萌芽期试验小区不同定额灌溉前后土壤含水率变化图

(3) 开花期。开花期设计灌溉次数为2次,灌水定额为225、300 m³/hm²。第4次灌溉时间为6月1日-6月3日,距上个生育期(萌芽期)灌溉间隔10 d,225和300 m³/hm²灌水定额土壤水分蓄存比为50%和56%,两种灌水定额典型试验小区土壤水分蓄存

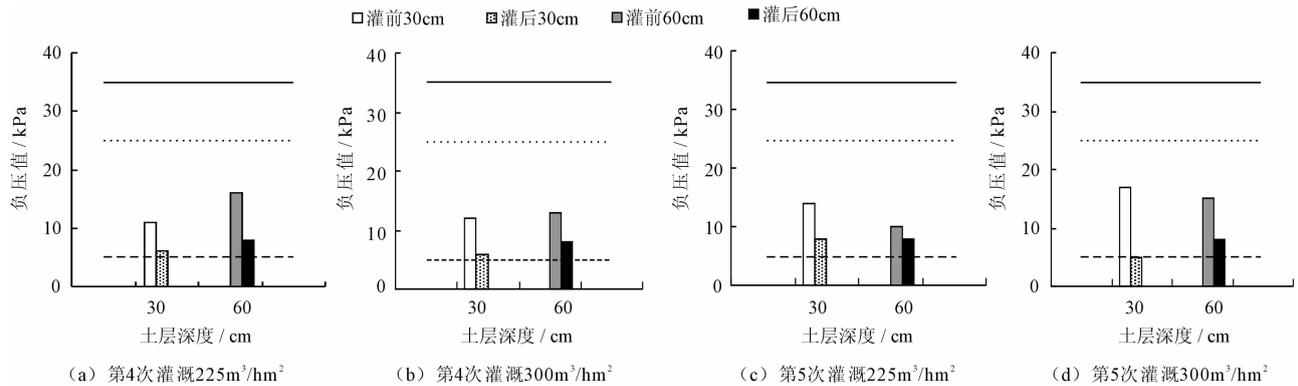
比都较低,分析原因主要是灌前土壤含水率较高,在60% θ_f 附近,说明本次灌溉与上次灌溉的间隔期较短,在土壤含水率仍较高时就进行了灌溉,造成土壤蓄存的水量不高,接近50%的水量渗漏到1 m以下的土层。

其次是砾石土虽然不能有效地将水分蓄存在土壤中,但是由于大颗粒的砾石表面能吸附一定的水分子,具有一定的保水、保墒作用。由第4次灌溉前后土壤水势变化图4(a)、4(b)可以明显地看出,灌前土壤水势均在12~15 kPa,在适宜作物生长范围内,说明此次灌溉距上次灌溉时间间隔太短,按照定额225 m³/hm²灌溉后30、60 cm土层深度的土壤水势为8 kPa,处于作物适宜生长范围内,300 m³/hm²定额各土层土壤水势在5 kPa附近,处于水量过大范围,因此生育期第4次灌水可适当将时间推迟,灌水定额选择225 m³/hm²。

第5次灌溉时间为6月9日-6月12日,距上次灌溉时间间隔8 d,灌水定额为225和300

m³/hm²土壤水分蓄存比分别为74%和50%,225 m³/hm²定额蓄存比略大。从土壤水势变化图4(c)、4(d)可以看出,225 m³/hm²灌水定额,灌后各土层土壤水势为8 kPa,处于作物适宜生长范围内;300 m³/hm²灌水定额,灌后30 cm土层土壤水势接近5 kPa,证明灌溉水量偏大。因此综合土壤水分蓄存比与土壤水势分析认为225 m³/hm²的灌水定额较适宜。

开花期,距上个生育期(萌芽期)灌溉时间间隔10 d,灌水次数为两次,生育期内灌溉时间间隔8 d,分析后发现距上个生育期灌水时间较近,可适当调整为12 d,灌水两次合理,第4、5次灌水定额均为225 m³/hm²较为合理。



注: 图中黑实线与虚点线之间为轻度缺水; 虚点线与虚线之间为适宜生长范围; 虚线以下为水分太多。

图4 开花期试验小区灌溉前后土壤水势变化图

(4)初果期。初果期设计灌水次数为3次,灌水定额为150和300 m³/hm²。第6次灌溉时间为6月17日-6月20日,距上个生育期(开花期)灌水时间间隔7 d,灌水定额150和300 m³/hm²对应的土壤水分蓄存比分别为51%和47%,灌溉水蓄存比较低,分析原因主要是灌溉前土壤含水率较高,导致灌溉水渗漏到1 m以下土层,所以应延长相邻两次灌溉的间隔期。

第7次灌溉时间为6月29日-7月1日,距上次灌水时间间隔8 d,150和300 m³/hm²灌水定额对应的土壤水分蓄存比分别为71%、49%,随着灌水定额的增大,灌水蓄存比降低,说明灌水定额300 m³/hm²容易产生深层渗漏。

第8次灌溉时间为7月6日-7月9日,距上次灌水时间间隔7 d,150 m³/hm²和300 m³/hm²灌水定额对应的土壤水分蓄存比分别为37%和39%,土壤水分蓄存比均较低,分析原因主要是灌前土壤含水率较高,导致灌溉水量漏失,也说明两次灌溉的间隔期较短。

初果期灌水时间距上个生育期灌水间隔7 d,生育期内第6、7次灌水时间间隔8 d,第7、8次灌水时间间隔7 d,由于初果期,葡萄植株对水分的需要量比较大,并且砾石土蓄存水能力差,因此认为3次灌水次数合理,距上个生育期时间间隔拉长2~3 d,生育期内灌水时间间隔7 d适合,第6次灌水定额为150 m³/hm²,第7、8次取设计灌水定额中间值即225 m³/hm²。

(5)果实膨大期。果实膨大期设计灌溉次数为3次,灌水定额为150、225和300 m³/hm²。第9次灌溉时间为7月14日-7月17日,距上个生育期(初果期)灌溉时间间隔4 d,150、225和300 m³/hm²对应土壤水分蓄存比为51%、67%、48%,对应正常田间灌溉来讲数值普遍较低,分析可能存在两种原因,一是灌溉间隔期较短,二是灌水定额相对砾石土质偏大。因此该次灌溉距上个生育期时间间隔适当推迟为7 d,灌水定额225 m³/hm²较合理。

第10次灌溉时间为7月22日-7月25日,距上次灌水时间间隔7 d,150、225和300 m³/hm²三

种灌水定额对应的土壤水分蓄存比分别为62%、49%和27%,随着灌水定额的增大,土壤水分蓄存比降低,说明由于土壤蓄存能力弱,增大灌水定额并不能全部为作物利用。同时三种灌水定额的土壤水分蓄存比均不高,是由于灌前土壤含水率较高,说明灌溉间隔期较短,应该适当延长灌溉间隔期为9 d,采用小定额,即 $150\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的灌水定额较适宜。

第11次灌溉时间为8月3日-8月5日,距上次灌水时间间隔8 d, $150\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 灌水定额灌前土壤含水率偏低,在3%~5%之间,灌后含水率有明显增加,0~60 cm范围土层含水率高于60%田间持水率,土壤水分蓄存比为92%。

$225\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 灌水定额灌前土壤含水率在5%左右,灌后各土层含水率均高于60%田间持水率,土壤水分蓄存比为79%。 $300\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 灌水定额土壤水分蓄存比较低为45%,分析原因主要是灌前20~

60 cm土层含水率较高,已经处于60% θ_f 。通过不同灌水定额土壤水分蓄存比对比发现,随着灌水定额的增大土壤水分蓄存比降低,说明灌溉水由于土壤蓄存能力弱,增大灌水定额并不能全部为作物利用。本次灌水时间间隔8 d适宜,灌水定额采用 $225\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

(6)着色期。该阶段属于葡萄品质增长关键生长期,为提高酿酒葡萄品质,尤其是糖度(可溶性固形物)的提高,需进行人为的控水,土壤含水率低于60% θ_f ,以满足果实品质的提升,只是在葡萄出现严重缺水的情况下按照 $150\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 进行一次补水。

通过对生育期灌水前后土壤含水率及水势的研究发现,生育期总共灌12次水,加冬灌13次,每次灌水间隔10 d左右最为适宜,若时段内有降雨或高温天气可适当进行调整,适宜宁夏贺兰山东麓砾石土质酿酒葡萄滴灌生育期灌溉定额见表4。

表4 宁夏贺兰山东麓砾石土质酿酒葡萄生育期滴灌灌溉定额

 m^3/hm^2

| 生育期 | 出土期 | 萌芽期 | 开花期 | 初果期 | 果实膨大期 | 着色期 | 埋土 | 灌溉 总定额 | 生育期 总定额 | | | | | | |
|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|------|
| 时间 | 04-22 - 04-24 | 05-06 - 05-09 | 05-19 - 05-21 | 06-03 - 06-05 | 06-14 - 06-17 | 06-27 - 06-30 | 07-08 - 07-10 | 07-17 - 07-20 | 07-26 - 07-29 | 08-08 - 08-11 | 08-19 - 08-21 | 09-10 - 09-15 | 11-10 - 11-15 | 3300 | 2700 |
| 定额 | 450 | 225 | 225 | 225 | 225 | 150 | 225 | 225 | 225 | 150 | 225 | 150 | 600 | | |

3 结论

通过对五年生赤霞珠生育期设定不同灌溉定额,利用土壤含水率监测仪器,对每个生育期酿酒葡萄灌溉前后含水率及土壤水势监测结果的分析,得出以下结论:

(1)砾石土质由于其含有粒径较大的砾石,蓄存水量的能力较弱,但是具有一定的保墒作用,因此在设计灌溉定额时应进行少量多次灌溉,试验得出贺兰山东麓砾石土质酿酒葡萄生育期滴灌灌溉定额为 $2700\text{ m}^3/\text{hm}^2$,灌水次数为12次,每次灌水时间间隔8~10 d左右最为适宜,其中出土期灌水定额 $450\text{ m}^3/\text{hm}^2$,萌芽期灌水1次,灌水定额 $225\text{ m}^3/\text{hm}^2$,开花期灌水2次,灌水定额均为 $225\text{ m}^3/\text{hm}^2$,初果期灌水3次,灌水定额150、225、 $225\text{ m}^3/\text{hm}^2$,果实膨大期灌水3次,灌水定额225、150、 $225\text{ m}^3/\text{hm}^2$,着色期灌水1次,灌水定额 $150\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (如遇长时间高温,可适当进行少量补水)。

(2)受气温、风速等外界因素影响土壤含水率在上层土壤(0~40 cm)中变幅较大;同一深度土层不同灌溉定额处理土壤含水率与灌水量大小成正

比;土壤水分蓄存比并不是随着灌水量的增加而增大,当灌水量达到某一数值时,随着灌水量的增加,土壤水分蓄存比反而减小。针对砾石土,试验证明当次灌水量高于 $300\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时,土壤水分蓄存比较低,土壤水分不能有效地蓄存在土壤中,容易产生深层渗漏。

(3)土壤水势与灌溉定额大小有一定的关系,当灌溉定额较小时,灌溉前后30 cm土层土壤水势均低于60 cm。当灌水量偏大时,灌前30 cm、60 cm土层土壤水势相近,灌后60 cm大于30 cm。

参考文献:

- [1] 杜军,沈润泽,马术梅,等.宁夏贺兰山东麓葡萄滴灌灌溉水肥一体化技术研究[J].中国农村水利水电,2013(8):65-69.
- [2] 安冬梅,马建国.宁夏贺兰山东麓葡萄酒产业发展存在问题及对策[J].北方园艺,2015(12),174-177.
- [3] 刘慧.开放的中国:“从宁夏到世界”省区市全球推介活动讲话[EB/OL].[2016-03-02].宁夏网络广播电视台, www.nxxtv.com.

- mechanism affecting regional water system[J]. IGBP Newsletter, 2003, 54: 2-4.
- [4] 程国栋. 虚拟水: 中国水资源安全战略的新思路[J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(4): 260-265.
- [5] 程国栋. 虚拟水: 水资源与水安全研究的创新领域[N]. 中国水利报, 2003-11-22(2).
- [6] 徐中民, 龙爱华, 张志强. 虚拟水的理论方法及其在甘肃省的应用[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 861-869.
- [7] 龙爱华, 徐中民, 张志强. 西北四省(区)2000年的水资源足迹[J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 692-699.
- [8] 孙才志, 陈丽新, 刘玉玉. 中国省级间农产品虚拟水流动适宜性评价[J]. 地理研究, 2011, 30(4): 612-621.
- [9] 赵静. 基于虚拟水理论的三江平原农业用水结构调整研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [10] 郎景波, 付强, 李铁男, 等. 三江平原水资源潜力开发及对环境的影响研究[R]. 哈尔滨: 黑龙江省水利科学研究院, 2016.
- [11] 黑龙江省统计局. 黑龙江(市)农村经济社会统计概要 2011-2015[Z]. 黑龙江: 黑龙江省统计局出版社, 2011-2015.
- [12] 黄姣, 高阳, 李双成. 东北三省主要粮食作物虚拟水变化分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2011, 47(3): 505-512.

(上接第 225 页)

- [4] 王锐, 孙权, 郭洁, 等. 贺兰山东麓砂质酿酒葡萄园土壤水分分布研究[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(1): 69-73.
- [5] 梁锦绣, 马文艳, 尚红莺, 等. 贺兰山东麓土壤水分运动及施肥对酿酒葡萄水分利用的影响[J]. 宁夏农林科技, 2004(1): 1-5.
- [6] 崔永增, 李唯, 李昭楠, 等. 戈壁葡萄膜下滴灌土壤水分动态规律的研究[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(2): 140-142.
- [7] 李涛. 西北旱区葡萄园土壤含水率与土壤属性空间变异及其对产量和品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [8] 王永杰, 张江辉, 王全九, 等. 极端干旱区滴灌葡萄适时控制灌溉试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(3): 101-104.
- [9] 杨慧慧. 吐哈盆地滴灌葡萄耗水规律及灌溉制度研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2011.
- [10] 周青云, 康绍忠. 葡萄根系分区交替滴灌的土壤水分动态模拟[J]. 水利学报, 2007, 38(10): 1245-1252.
- [11] 刘梅先, 杨劲松, 余美, 等. 膜下滴灌条件下滴头流量和水质对水分运移及蒸散规律影响研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(6): 1330-1334.
- [12] 李道西, 代小平, 冯江, 等. 滴头流量和灌水量对滴灌土壤水分运动的影响[J]. 节水灌溉, 2012(2): 13-15.
- [13] 张林, 吴普特, 朱德兰, 等. 多点源滴灌条件下土壤水分运移模拟试验研究[J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30(2): 237-243.