

天水鲜食葡萄水分适宜性研究

姚小英^{1,2}, 李晓薇³, 王禹锡⁴, 汪鸿滨²

- (1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 甘肃省天水市气象局, 甘肃 天水 741020; 3. 仲恺农业工程学院, 广东 广州 510550;
4. 广东外语外贸大学, 广东 广州 510550)

摘要: 运用甘肃省天水农业气象试验站 2004—2009 年葡萄物候观测资料及 1971—2009 年的气象资料, 利用 Penman-Monteith(98 版)公式及作物系数, 对葡萄各生育阶段的需水量进行计算, 建立估算水分利用程度的水分适宜度模型。结果表明:天水市葡萄生长期的水分条件比较优越, 全生育期水分适宜度在 0.70 以上;近年来全生育期葡萄水分适宜度随时间呈下降状态;虽然全生育期水分适宜性较好,但在各生长阶段分布不均,末期生长阶段降水量大于需水量,但旺盛生长期水分供需矛盾比较突出,水分适宜度较低。在半山区建园应该优先发展灌溉等农业设施,以利于葡萄种植业的持续发展。

关键词: 天水;葡萄;水分适宜性;生长阶段

中图分类号: S663.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0112-05

A study on water suitability of table grape in Tianshui

YAO Xiao-ying^{1,2}, LI Xiao-wei³, WANG Yu-xi⁴, WANG Hong-bin²

- (1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration/ Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of CMA/ Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China;
2. Tianshui Meteorological Bureau, Tianshui, Gansu 741000, China;
3. Institute of Environmental Science and Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Technology, Guangzhou 510550, China;
4. Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510550, China)

Abstract: Based on the observation data of phenology of table grape at Tianshui Agro-meteorological Experiment Station from 2004 to 2009 and the meteorological data at Maiji National Base Meteorological Station from 1971 to 2009, the water requirement of table grape during various growing periods had been calculated with the FAO Penman-Monteith formula (1998 edition) and crop coefficients, and the model of water suitability degree of table grape had been set up. The results showed that the water supply in Tianshui was comparatively advantageous to table grape and the mean water suitability degree of whole growing season was above 0.70. The water suitability degree of whole growth season decreased with the times in recent years. Although the mean water suitability degree of whole growing season was relatively good, it was uneven among different growing periods. The precipitation was more than the amount of water requirement during the late growing period, but there was a remarkable water deficiency and the water suitability degree was relatively low during vigorous growing period. It was suggested that, in order to improve the industry of table grape sustainably, irrigation facilities be developed preferentially in the mountain areas in Tianshui.

Keywords: Tianshui; table grape; water suitability; growing periods

天水市是甘肃省最大的鲜食葡萄(*Vitis Labrusca* L.)基地。该地地处内陆,跨半干旱和半湿润气候带,温度日较差大,光照充沛,湿度适中,土壤透气性好,是葡萄比较理想的栽培地点之一^[1]。20世纪80年代天水市葡萄园区基本上建在渭河及其支流的河

谷地带,地势平坦,部分果园还有灌溉设施,葡萄生长期间水分的满足程度较高,水分胁迫较小。近年来,随着城市基础设施建设及城镇化进度加快,土地利用结构发生较大变化。加之鲜食葡萄市场需求量逐年扩大,葡萄种植开始向海拔较高的半山区移动,果园

收稿日期:2012-04-20

基金项目:甘肃省气象局“十人计划”;国家科技部公益行业专项(GYHY200806021)

作者简介:姚小英(1968—),女,甘肃天水人,硕士,高级工程师,主要从事应用气象业务及试验研究工作。E-mail:tsyxy66@163.com。

无灌溉补充水分,葡萄生长阶段水分的适宜程度对葡萄的光合作用及生长发育的影响开始凸显^[2-5]。

水分适宜性是植物生长的首要因素。20 世纪 80 年代以来许多学者对农作物的水分供需进行了大量研究,对冬小麦、玉米及其它经济作物不同生育阶段在不同地点的水分适宜程度进行了评价,为节水农业发展及作物灌溉科学用水提供了依据^[6-7],但针对果树的水分需求及供给的评估相对报道较少。本文根据甘肃省天水农业气象试验站多年葡萄生长发育物候期及降水量的变化,建立了葡萄生长的水分适宜度评估模型,客观地评估了降水量对葡

萄生长发育的适宜程度及对产量的影响,以期为该地葡萄园建设及区划提供依据。

1 资料来源与分析方法

1.1 葡萄物候期资料

2004—2009 年天水农业气象试验站在毗邻麦积国家气象站的葡萄物候观测地段,按照《农业气象观测规范》^[8]要求,对葡萄(品种:巨峰)从春季叶芽开放到秋季落叶等 9 个物候期进行了连续逐年观测,获得了葡萄平均物候期资料(表 1)。

表 1 天水葡萄平均物候期(1998—2003 年)

Table 1 The average phenological period of table grape in Tianshui (1998—2003)

项目 Items	叶芽开放期 Bud developing	展叶始期 Initial leaf developing	展叶盛期 Mid leaf developing	开花始期 Initial flowering	开花盛期 Mid flowering	开花末期 Late flowering	成熟期 Maturity	叶变始期 Initial leaf-color changing	落叶始期 Initial defoliation
日期(M-d) Date	04-07	04-13	04-24	05-16	05-23	05-28	08-24	09-21	09-30

1.2 葡萄生理需水量计算

20 世纪 90 年代,FAO 曾经组织许多学者,在世界各地对包括农作物、经济作物及果树在内的多种植物进行了水分需求试验,得出了作物需水与参考作物蒸散的关系,给出了各种作物在不同生育时段 K_c 值。作物系数随生长地区、作物种类、生育时段、栽培技术等变化较大,本文采用的需水定量估算方法取自上述研究结果^[9]。根据文献^[9],可用公式(1)计算不同生长发育阶段葡萄生理需水量。式中, W_j 为某一生长阶段的葡萄生理需水量(mm); K_c 为作物系数,根据天水葡萄的生长发育特性,依其物候期,分为初始生长期(叶芽开放 ~ 开花盛期)、旺盛生长期(开花盛期 ~ 成熟期)及果实成熟后的生长后期(成熟期 10 d ~ 落叶期)(表 2)。

$$W_j = \sum_{i=1}^n K_{c_j} \times ET_{0i} \quad (1)$$

(1) 式中, j 为生长阶段; n 为生长期所包含的旬数(如天水葡萄初始生长期为 3 月下旬—4 月上旬, $n = 2$); i 为旬序号; ET_{0i} 为 i 旬的参考作物蒸散量,按 Penman - Monteith(98 版)公式^[2]计算:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

式中, ET_0 为参考作物蒸散量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); R_n 为作物表面净辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$),由(3)式计算; Δ 为饱和水汽压 - 温度曲线斜率($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$),由(9)式计算; G 为土壤热通量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$),由(10)式计算; γ 为湿度计常数($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$),由(11)计算; T 为日平均气温(C); u_2 为 2 m 高处的风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); e_a 为饱和水汽压(kPa)由(12)式计算, e_d 为实际水汽压(kPa)。

表 2 天水葡萄不同生长阶段及作物系数

Table 2 The growth periods and crop coefficient (K_c) of table grape in Tianshui

项目 Items	初始生长期 Initial growing period	旺盛生长期 Vigorous growing period	生长末期 Late growing period
时段 Time interval	4 月中旬—5 月下旬 Second ten days in April to last ten days in May	6 月上旬—8 月下旬 First ten days in June to last ten days in August	9 月上旬—9 月下旬 First ten days in September to last ten days in September
K_c	0.30	0.82	0.45

由于目前气象站普遍无 2 m 高处风速观测资料,风速用下式计算: $u_2 = 4.78 \times u_k / \ln(67.8 \times h -$

$5.42)$ 。式中: u_k 为 h 处的风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); h 为高度(m)。本研究所用风速资料由气象站统一测得,高度为 10.4 m,则风速换算公式为 $u_2 = 0.743 \times u_{10}$ 式

中, u_{10} 为气象站所测风速。

$$R_n = (1 - \alpha) \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a - \sigma \left(\frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right) \\ (0.34 \ 0.14 \ \sqrt{e_d}) \left(1.35 \frac{\left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (3)$$

式中, α 为反射系数, 取 0.23; a_s 、 b_s 为修正系数, 分别取 0.25 及 0.75; R_a 为天文辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), 由 (4) 式计算; σ 为史蒂文 - 波尔兹曼常数取 $4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; T_{\max} 及 T_{\min} 为平均最高、最低温度 ($^{\circ}\text{K}$); n 、 N 分别为实际、可照日照时数 (h); R_{so} 为晴空辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), 由 (8) 式计算。

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} G_{so} d_r [\omega_s \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (4)$$

式中, G_{so} 为太阳常数, 取 $0.082 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$; d_r 为日地距离倒数, 由 (5) 式计算; ω_s 为太阳时角, 由 (6) 计算; ϕ 为测站纬度 (弧度); δ 为太阳赤纬, 由 (7) 式计算。

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (5)$$

式中, J 为 1 年之中的日序数 (1 月 1 日为 1, 12 月 31 日为 365)。

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(\phi)\tan(\delta)}{[1 - [\tan(\phi)]^2[\tan(\delta)]^2]^{0.5}}\right] \quad (6)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (7)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} Z) R_a \quad (8)$$

式中, Z 为测站海拔高度 (m)。

$$\Delta = \frac{4096 \left[0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad (9)$$

$$G = 0.07(T_{i+1} - T_{i-1}) \quad (10)$$

式中, T_{i+1} 、 T_{i-1} 分别为计算前 1 月及后 1 月的平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)。

$$\gamma = 0.0665 \times 10^{-3} P \quad (11)$$

式中, P 为大气压强 (kPa)。

$$e_a = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right) \quad (12)$$

根据葡萄各生育阶段各旬生理需水量 (W_i , mm) 和各地各旬降水量 (R_i , mm), 综合以往的研究成果^[10-11], 构造了葡萄各旬水分适宜度 (U_i):

$$U_i = \begin{cases} 1, & R_i \geq W_i \\ R_i/W_i, & R_i < W_i \end{cases} \quad (13)$$

1.3 气象资料

计算参考作物蒸散量 ET_0 所需的气压、气温、

水汽压、相对湿度、风速、日照百分率的旬平均值及旬降水量值取自麦积国家基本气象站 1971—2009 年历年观测值。计算所需的天文辐射由 (4) 式计算而得。

1.4 分析方法

用一次线性方程表示降水量及水分适宜度的趋势系数^[12]。借助 Excel 作图及相关分析。

2 结果与分析

2.1 葡萄水分适宜度年际变化

天水葡萄全生育期平均生理需水量 561 mm, 平均降水量为 405 mm, 水分适宜度为 0.73。葡萄初始生长阶段平均需水量 57 mm, 期间降水量 59 mm, 水分适宜度 1.06。旺盛生长阶段平均需水量 466 mm, 降水量 286 mm, 水分适宜度 0.57。末期生长阶段平均需水量为 46 mm, 降水量 82 mm, 水分适宜度 1.77。虽然葡萄全生育期水分适宜性较好, 但由于降水量及需水量时间分布匹配性较差, 时段性供需矛盾较大, 末期生长阶段降水量远大于葡萄的需水要求, 旺盛生长阶段水分供应不能满足葡萄生长需要。

葡萄生理需水转折年份出现在 1989 年 (图 1), 1971—1989 年生理需水以 $33 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R = 0.4285$, $P < 0.01$) 线性趋势减少, 1989—2009 年生理需水以 $7 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R = 0.0315$, $P > 0.1$) 线性趋势增加。降水量的转折点出现在 1990 年, 1971—1990 年降水量以 $88 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R = 0.2856$, $P < 0.1$) 线性趋势增加, 1990—2009 年降水量以 $10 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R = 0.0615$, $P > 0.1$) 线性趋势减少。水分适宜度的转折点出现在 1990 年, 1971—1990 年水分适宜度以 $0.19 \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R = 0.2481$, $P < 0.1$) 线性趋势增加, 1990—2009 年水分适宜度以 $0.01 \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R = 0.0145$, $P > 0.1$) 线性趋势减少。近年来葡萄需水量增加, 生长期降水量减少, 全生育期水分适宜度呈变差趋势。

2.2 各生育期水分适宜度变化

2.2.1 初始生长阶段 葡萄初始生长阶段, 生长时间占全生育期的 23%, 生理需水量占全生育期的 10%, 生长阶段平均降水量占全生育期的 14%。该生育阶段, 葡萄营养生长为主, 是果实累积的准备阶段, 生理需水较少。1971—2009 年生理需水呈逐年增加趋势 (图 2)。这是近 40 年来春季升温参考作物蒸散加大所致^[13], 其中 1982 年是生理需水开始增加的转折年份。1982—2009 年生理需水以 $5 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R = 0.4028$, $P < 0.01$) 的趋势增加。该生育阶段降水量年际线性分布不明显。在研究年份中降水量大于生理需水量与小于生理需水量的年份持

平。近 20 年来水分适宜度呈下降趋势,1987—2009 线性趋势下降。年水分适宜度以 $0.4 \cdot 10a^{-1}$ ($R = 0.2548$ $P < 0.1$) 的

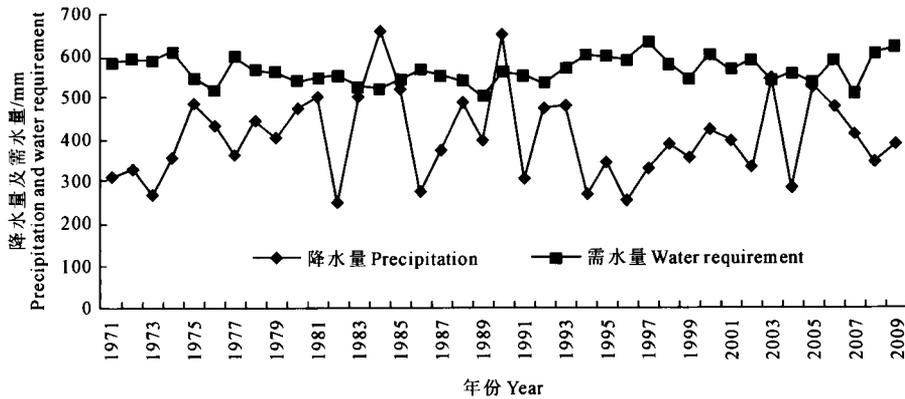


图 1 天水市葡萄历年需水量及生长期期间降水量

Fig.1 Variation of annual amount of water requirement and precipitation during whole growing period of table grape in Tianshui

2.2.2 旺盛生长阶段 旺盛生长阶段是葡萄产量形成的关键生长阶段。葡萄的开花及果实形成全部在此阶段实现,是葡萄生长时间最长的时段,占全生育期的 59%,葡萄的需水量占整个生育期需水量的 82%,降水量占全生育期的 66%。研究年份降水与

需水量的差值平均为 190 mm,其中 1982 年相差达 383 mm。需水量与降水差值 > 300 mm 的年份为 6 年,占研究年份 15%; > 200 mm 的年份为 20 年,占研究年份 50%; < 100 mm 的年份仅为 7 年,占研究年份 18%。说明旺盛生长阶段的水分亏缺比较大。

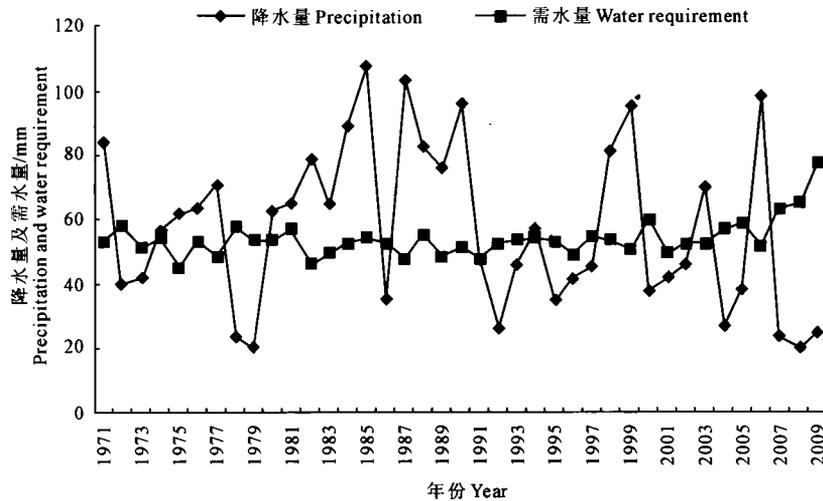


图 2 天水市葡萄初始生长期需水量及降水量

Fig.2 Variation of amount of water requirement and precipitation during initial growing period of table grape in Tianshui

需水量的转折年份出现在 1989 年(图 3), 1971—1989 年需水量以 $33 \text{ mm} \cdot 10a^{-1}$ ($R = 0.4508$, $P < 0.01$) 线性趋势减少,1989—2009 年以 $7 \text{ mm} \cdot 10a^{-1}$ ($R = 0.0241$, $P > 0.1$) 线性趋势增加。降水量的转折年份出现在 1984 年,1971—1984 年降水量以 $10 \text{ mm} \cdot 10a^{-1}$ ($R = 0.2197$, $P > 0.1$) 的线性趋势增加,1984—2009 年降水量以 $16 \text{ mm} \cdot 10a^{-1}$ ($R = 0.0209$, $P > 0.1$) 的线性趋势减少。1971—2009 年降水量只有 1984 年大于需水量,其余各年份降水量均不能满足

需水的要求。从 1996 年以后水分适宜性得到改善, 1996—2009 水分适宜度以 $0.3 \cdot 10a^{-1}$ ($R = 0.3610$, $P < 0.1$) 的线性趋势增加。

2.2.3 生长末期阶段 生长末期阶段是葡萄采摘后进入冬眠前的最后一个生长阶段,时间占全生育期 18%。此时段果实已经采摘,水分需求急剧减少,生理需水只占全生育期的 8%,而降水量比较丰富,平均降水量占全生育期的 20%,1971—2009 年只有 7 年降水量小于生理需水量(图 4),占研究年

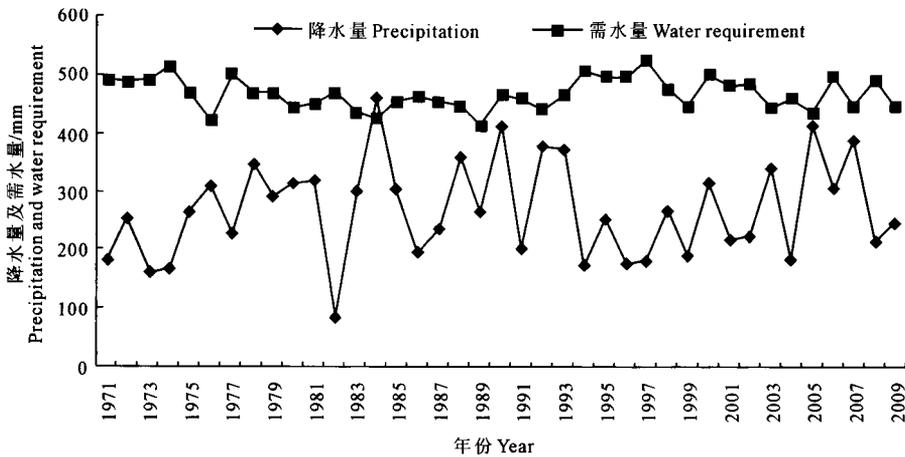


图 3 天水市葡萄旺盛生长期需水量及降水量

Fig.3 Variation of amount of water requirement and precipitation during vigorous growing period of table grape in Tianshui

份的 18%, 其余年份降水量均大于生理需水量。1971—2009 年生理需水量以 $22 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R = 0.2991, P < 0.1$) 线性趋势增加。降水量随年份线性

变化不明显。水分适宜度平均值 1.8。生长末期阶段的水分供需状况, 影响葡萄树的越冬及来年春季的生长。

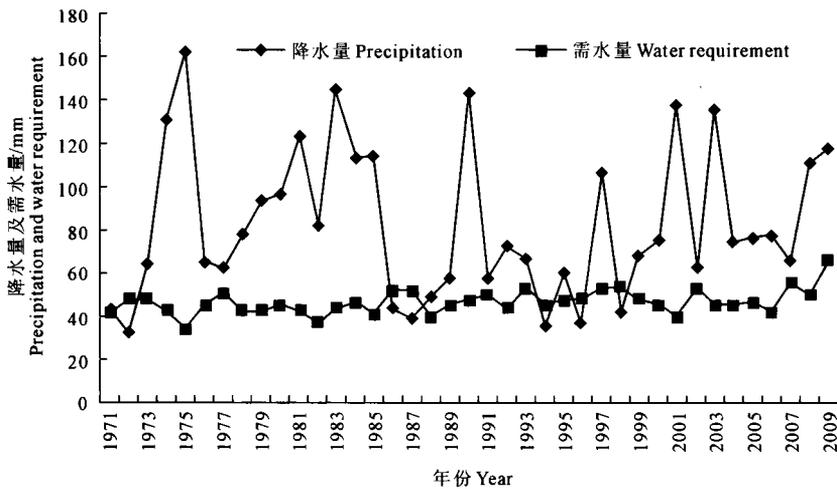


图 4 天水市葡萄生长末期需水量及降水量

Fig.4 Variation of amount of water requirement and precipitation during late growing period of table grape in Tianshui

3 讨论

根据天水葡萄生理需水及降水分布特点, 建立了水分适宜度计算模型。由于生长阶段的生理需水建立在参考作物蒸散的基础上, 模型综合考虑了光照、气温、风速、辐射、空气湿度等气象因子对水分蒸散过程的影响。能较为客观地反映葡萄生长过程对水分适宜性动态变化的依赖, 可为葡萄种植业的调整提供理论支持。

运用此模型计算分析表明, 天水旱作鲜食葡萄种植水分适宜度在 0.70 以上。虽然全生育期水分

适宜度较高, 但在各生育阶段之间分布并不均匀。初始生长阶段及末期生长阶段水分适宜性较好, 旺盛生长阶段水分适宜性较差。全生育期生理需水呈线性增加趋势, 降水量线性变化趋势不明显。初始生长阶段, 降水量线性变化不明显, 水分适宜度呈线性减少; 旺盛生长阶段, 20 世纪 70 年代至 90 年代, 生理需水线性增加趋势明显。近年来, 水分适宜度线性增加趋势明显。末期生长阶段, 降水量在大部分年份大于生理需水量。

(下转第 160 页)

31 a 生真菌数量分别为流沙地的 22.37、45.86、63.83 和 73.94 倍。不同沙丘部位的真菌数量存在差异,真菌数量在沙丘部位上的变化规律为:丘间地 > 背风坡 > 迎风坡 > 丘顶。丘间地与背风坡、迎风坡、丘顶间真菌数量差异显著,背风坡、迎风坡和丘顶三者之间差异不显著。

由表 3 得出,真菌数量随土层深度增加而急剧减少。除 7 a 林地 5 ~ 25 cm 与 25 ~ 50 cm 的差异不显著外,其余各林龄段的各土层间差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。

4 结 论

1) 樟子松人工林土壤细菌、放线菌和真菌数量均随林龄增大而增加,在 7 ~ 15 a 林龄段内增幅最大。细菌占多数,放线菌居中,真菌最少。

2) 细菌、放线菌和真菌均呈现出垂直递减的分布规律,0 ~ 5 cm 表层与 5 ~ 25、25 ~ 50 cm 的土壤微生物数量差异显著;三大微生物在沙丘部位上的变化次序为:丘间地 > 背风坡 > 迎风坡 > 丘顶,丘间地与其它 3 个沙丘部位之间基本达到显著差异水平。

3) 榆林沙区栽植樟子松林后,0 ~ 50 cm 土层微

生物数量增加,较流沙地显著提高,表明在流沙地上栽植樟子松人工林后,土壤肥力状况不断改善。

参 考 文 献:

- [1] 杨 涛,徐 慧,方德华. 樟子松林下土壤养分、微生物及酶活性的研究[J]. 土壤通报,2006,37(2):253-257.
- [2] 陆 梅,田 昆,陈玉惠. 高原湿地纳帕海退化土壤养分与酶活性研究[J]. 西南林学院学报,2004,24(1):36-41.
- [3] 逢 蕾,肖洪浪,路建龙. 干旱半干旱地区砂田交界层土壤微生物区系研究[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(1):96-101.
- [4] 毕江涛,贺达汉,沙月霞. 荒漠草原不同植被类型土壤微生物群落功能多样性[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(5):149-155.
- [5] 徐 恒,廖超英,李晓明. 榆林沙区人工固沙林土壤微生物生态分布特征及酶活性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(12):135-141.
- [6] 程丽娟,薛泉宏. 微生物学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000:63-68.
- [7] 杨文博. 微生物学实验[M]. 北京:化学工业出版社,2004:217-218.
- [8] 杨 凯,朱教君,张金鑫. 不同林龄落叶松人工林土壤微生物物量碳氮的季节变化[J]. 生态学报,2009,29(10):5500-5507.
- [9] 高永健,袁玉欣,刘四维. 不同林龄杨树人工林对土壤微生物状况和酶活性的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(7):185-189.
- [10] 于海燕,张明铁. 不同小生境下樟子松、油松生长状况的研究[J]. 现代农业科技,2009,(10):12-13.

(上接第 116 页)

在天水栽培的鲜食葡萄水分条件比较优越,但在葡萄生长的旺盛阶段,降水量仍不能较充分满足该阶段生长需求,在渭河及其支流谷地山区建园的葡萄园地,应大力发展提水灌溉设施,在葡萄旺盛生长期及时补充水分,取得较好产量,增强葡萄种植业持续性发展。

参 考 文 献:

- [1] 姚小英,王全福,朱德强,等. 陇东南葡萄生态气候及种植风险决策[J]. 中国农业气象,2004,25(1):57-59.
- [2] 梁 鹏,杜 峰,李 勃,等. 灌溉水湿润容积对部分根域干燥栽培藤稔葡萄树体生长和果实发育的影响[J]. 果树学报,2009,29(6):813-818.
- [3] 房玉林,惠竹梅,陈 洁,等. 水分胁迫对葡萄光合特征的影响[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(2):102-106.
- [4] 惠竹梅,房玉林,郭玉枝,等. 水分胁迫对葡萄幼苗 4 种主要生理指标的影响[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(3):26-29.
- [5] 刘世秋,张振文,惠竹梅,等. 干旱胁迫对葡萄酒葡萄赤霞珠光合作

- 用的影响[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(5):58-63.
- [6] 李凤霞,王连亚,刘 静,等. 宁夏引黄灌区春小麦需水规律及水分指标的研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(4):108-110.
- [7] 尹光华,蔺海明. 旱农区不同种植模式作物最佳补灌时期和适宜补灌量研究[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(1):85-90.
- [8] 中国气象局. 农业气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,1993:139-148.
- [9] R G Allen, L S Pereira, D Raes, et al. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56[M]. Rome: FAO - Food and Agriculture Organization, 1998.
- [10] 千怀遂,焦士兴,赵 峰. 河南省小麦气候适宜性变化研究[J]. 生态学杂志,2005,24(5):503-507.
- [11] 杨小利,蒲金涌,马鹏里,等. 陇东地区苹果生产水分适宜性评估[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(9):71-75.
- [12] 魏淑秋. 农业气象统计[M]. 福州:福建科学技术出版社,1985:296-298.
- [13] 蒲金涌,姚小英,王位泰. 甘肃黄土高原地表湿润状况时空变化特征[J]. 干旱区地理,2010,33(4):588-592.