

不同生育期水分胁迫对设施延后栽培葡萄生理生长及产量的影响

王文丽¹, 贾生海¹, 张芮¹, 张小艳¹, 王旺田², 赵霞¹, 王菲¹

(1. 甘肃农业大学水利水电工程学院, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃农业大学生命科学技术学院, 甘肃兰州 730070)

摘要 [目的] 为分析不同生育期水分胁迫对设施延后栽培葡萄叶片的脯氨酸(Pro)、丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、葡萄粒径及葡萄产量的影响。[方法] 以6 a生“红地球”葡萄为供试材料, 设置萌芽期水分胁迫(GS)、新梢生长期水分胁迫(PS)、开花期水分胁迫(FS)、果实膨大期水分胁迫(ES)、着色成熟期水分胁迫(CS)5个水分胁迫处理, 以全生育期充分供水(CK)为对照。[结果] 与CK相比, 各水分胁迫处理都会使葡萄叶片Pro含量升高; CK处理会抑制葡萄叶片MDA含量的增加, 且PS处理的葡萄叶片MDA含量在整个生育期处于升高状态; CK处理葡萄叶片SOD活性比胁迫处理高, 有利于葡萄的生长发育; 不同时期的水分胁迫均对葡萄叶片POD活性有一定的抑制作用, 其复水之后POD活性有所不同。各处理葡萄纵径和横径均历经两个膨大高峰期, GS处理有利于葡萄粒径的增长; ES处理不仅显著降低葡萄产量, 且严重影响葡萄单粒重, 影响外观品质; GS处理产量最高, 故萌芽期水分胁迫不会导致葡萄减产, 而在果实膨大期、着色成熟期进行水分胁迫则会严重减产。[结论] 水分胁迫增加了葡萄叶片中脯氨酸和丙二醛的含量, 抑制了葡萄叶片中SOD及POD的活性; 在葡萄的萌芽期进行水分胁迫产量最高, 比CK增加了8.77%。
关键词 水分胁迫; 葡萄; 脯氨酸; 丙二醛; 超氧化物歧化酶; 过氧化物酶; 粒径; 产量
中图分类号 S663.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)20-0041-04

Effects of Water Regulations in Different Growth Stages on Physical Growth and Yield of Delayed Grape Cultivation
WANG Wen-li, JIA Sheng-hai, ZHANG Rui et al (College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070)
Abstract [Objective] To analyze the effects of water stress on Pro, MDA, SOD, POD, grape grain size and yield on different growth periods of delayed grape cultivation. [Method] Taking the 6 a “red globe” as test materials, we set up five water treatment systems—GS, PS, FS, ES and CS, with CK as the control. [Result] Compared with CK, the proline content in grape leaves increased with water stress treatment; the sufficient water supply in each growth period inhibited the MDA increase, the MDA content of grape leaves treated by PS was elevated during the whole growth period. The SOD enzyme activity of the grape leaves that treated with sufficient water supply was higher than stress treatment, which was beneficial to the growth and development of grape. Water stress at different stages had a certain inhibitory effect on the POD enzyme activity, after enough irrigation, the POD enzyme activity was different. Both the longitudinal diameter and transverse diameter of each treatment experienced two swelling peaks, the water stress in the germination stage was beneficial to the growth of grape grain size. The enlargement period water stress not only significantly reduced the grape yield, but also severely affected the grain weight of grape and affected the appearance quality. Last GS had the highest production of up to 25 982.77 kg/hm², so the water stress of germination stage could not lead to reduction. However, the water stress of fruit enlarging period could cause serious reduction. [Conclusion] Water stress increased the content of proline and MDA in grape leaves, and inhibited the activity of SOD and POD in grape leaves; the yield of water stress was the highest in the germination period of grape, which was 8.77% higher than CK.
Key words Water stress; Grape; Proline; MDA; SOD; POD; Grain size; Yield

我国葡萄产量和栽培面积已进入世界葡萄大国行列, 尤其是鲜食葡萄居世界第一位^[1]。中国甘肃冷凉地区地域广阔、气候干旱、降雨量少、昼夜温差大^[2], 具有发展葡萄设施延后栽培方式的独特优势。截至目前, 甘肃冷凉地区葡萄栽培面积约占全国90%以上^[3]。但由于干旱少雨且时空分布不均匀, 工业和农业以及生活中水污染和水资源浪费严重, 水分胁迫常对植物的生理生长和产量造成极大的影响^[4], 已经成为限制植物生长发育和减产的重要因子^[5]。

脯氨酸是植物体内一种重要的渗透调节物质, 对水分胁迫反应较敏感^[6]。当植物遭受水分胁迫时, 植物体内脯氨酸大量积累^[7]; MDA含量是反映细胞脂质过氧化强弱的重要指标^[8], 而水分胁迫会导致葡萄叶片MDA含量增加^[9]; 吴敏等^[10]研究表明, 水分胁迫会使栓皮栎幼苗细根SOD活性升高; 对于玉米而言, 水分胁迫会降低玉米叶片POD活性, 复水后补偿效果明显, 苗期水分胁迫在复水后SOD活性补偿

基金项目 国家自然科学基金项目(51569002); 国家自然科学基金项目(51769001); 国家自然科学基金项目(31560552)。
作者简介 王文丽(1992—), 女, 甘肃陇南人, 硕士研究生, 研究方向: 节水灌溉技术。*通讯作者, 教授, 博士, 从事旱区水资源和水土保持方面的研究。
收稿日期 2018-03-05

效果明显^[11]; 齐建波等^[9]研究表明, 水分胁迫会导致葡萄叶片过氧化物酶活性呈先上升后下降的趋势。而在果实膨大期进行水分胁迫则会使果实粒径减小^[12], 张芮等^[13-14]在对葡萄的研究中也表明, 果实膨大期的水分胁迫会造成果实粒径偏小、果穗质量减轻, 且会导致减产。因此, 水分胁迫对作物的生理生长和产量有很大的影响, 但在各个生育期进行水分胁迫对葡萄生理生长、产量及葡萄粒径方面的研究尚不足。鉴于此, 笔者在设施延后栽培葡萄的5个生育期分别进行水分胁迫对葡萄生理生长、产量及粒径的影响, 来寻求设施延后栽培葡萄合理的灌溉制度, 达到既能节水又能提高延后栽培葡萄品质及增产的目的。

1 试验与方法
1.1 试验区概况 田间试验于2016年4—12月在甘肃省兰州市永登县节水灌溉试验站进行(102°36'~103°45'E, 36°12'~37°07'N)。该地海拔2 000 m, 属温带大陆性气候, 年平均气温为5.9℃, 年均降水量为290 mm, 年日照时数为2 659 h, 平均无霜期121 d。
1.2 试验设计 试验品种为6年生葡萄, 选用品种“红地球”, 葡萄栽培设施为当地普遍采用的日光温室, 单棚面积为8 m×80 m, 株间距为0.8 m, 行间距为2 m。灌溉方式为滴灌,

采用一行一管控制模式,滴头间距 500 mm;滴头流量 5 L/h。土壤类型为砂壤土。

试验将设施延后栽培葡萄划分为 5 个生育期,即萌芽期(5 月 16—28 日),新梢生长期(5 月 29 日—6 月 16 日),开花期(6 月 17—30 日),果实膨大期(7 月 1 日—9 月 10 日),着色成熟期(9 月 11 日—12 月 28 日)。采用单因素完全随机试

验,在葡萄的每个生育期设置水分胁迫(即土壤相对含水率为 55%~75%)供水水平,1 个对照组(即生育期内充分供水水平,土壤相对含水率为 75%~100%);共 6 个水分调控处理,3 次重复,共 18 个小区,试验小区随机布设,每个小区面积为 6 m×2 m,包括 1 行葡萄。试验处理见表 1。

表 1 不同处理各阶段土壤含水率下限
Table 1 Lower limits of soil water content at different stages in different treatments %

处理编号 Treatment code	处理名称 Treatment name	萌芽期 Germination stage	新梢生长期 Shoot growth stage	开花期 Flowering stage	果实膨大期 Fruit swelling stage	着色成熟期 Fruit ripe stage
GS	萌芽期水分胁迫	55	75	75	75	75
PS	新梢生长期水分胁迫	75	55	75	75	75
FS	开花期水分胁迫	75	75	55	75	75
ES	果实膨大期水分胁迫	75	75	75	55	75
CS	着色成熟期水分胁迫	75	75	75	75	55
CK	全生育期充分供水	75	75	75	75	75

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生理指标的测定。对设施延后栽培葡萄在不同生育期进行不同水分处理之后,每隔 7 d 采集不同小区前、中、后葡萄叶片进行脯氨酸、丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)含量的测定。脯氨酸含量采用酸性茚三酮法^[15]测定,丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法^[15]测定,超氧化物歧化酶(SOD)含量采用氮蓝四唑(NBT)光还原法^[15]测定,过氧化物酶(POD)含量采用愈创木酚比色法^[15]测定。

1.3.2 产量的测定。葡萄成熟后,用精度为 0.01 kg 的电子秤称取每个小区葡萄的产量(kg),并换算为标准产量(kg/hm²);葡萄成熟后,每个处理随机摘取 20 颗葡萄,采用精度为 0.01 g 的电子天平测定葡萄单粒重量。

1.3.3 葡萄粒径的测定。在膨大期后每隔 15 d 用精度为 0.01 mm 的游标卡尺进行测定,每行葡萄上、中、下各取 3 粒,共 9 粒。

1.4 数据统计分析 采用 Excel 2013 及 SPSS 20.0 软件进行方差统计分析。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对葡萄叶片脯氨酸(Pro)含量的影响 6 月 12 日(新梢生长期)与 6 月 28 日(开花期)各水分胁迫处理葡萄叶片 Pro 含量与 CK 无显著性差异;8 月 20 日(果实膨大期)PS 处理葡萄叶片 Pro 含量最高,显著高于 CK,比 CK 增加了 46.51%;9 月 20 号(着色成熟期)CK 处理葡萄叶片 Pro 含量显著低于 PS 和 ES 处理,PS 和 ES 处理比 CK 处理分别增加了 23.00%、16.77%;11 月 14 日(着色成熟中期)CK 处理葡萄叶片 Pro 含量显著低于 GS、FS 处理。

2.2 水分胁迫对葡萄叶片丙二醛(MDA)含量的影响 6 月 12 日(新梢生长期)各处理葡萄叶片 MDA 含量与 CK 无显著性差异;6 月 28 日(开花期)PS 处理葡萄叶片 MDA 含量达到 11.34 μmol/g,显著高于 CK,比 CK 增加了 24.07%;8 月 20 日

(果实膨大期)GS、PS、CS 处理葡萄叶片 MDA 含量显著高于 CK;9 月 20 日(着色成熟期)和 11 月 14 日(着色成熟中期)CK 处理葡萄叶片 MDA 含量均低于其他处理;PS 处理 MDA 含量在整个生育期处于增加的趋势,且增长速率逐渐减慢。

表 2 不同处理对葡萄叶片脯氨酸含量的影响
Table 2 Effect of different treatments on proline content of grape leaves μg/g

处理编号 Treatment code	06-12	06-28	08-20	09-20	11-14
CK	13.74 a	17.01 a	10.32 b	14.61 b	10.11 b
GS	13.77 a	16.35 a	13.50 ab	14.97 ab	13.29 a
PS	14.94 a	17.31 a	15.12 a	17.97 a	10.44 b
FS	15.54 a	18.27 a	12.72 ab	14.04 b	13.41 a
ES	13.68 a	16.02 a	13.02 ab	17.06 a	10.50 b
CS	14.13 a	17.22 a	14.37 ab	14.49 b	11.94 ab

注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著
Note: Different lowercase letters indicated significant differences at 0.05 level

表 3 不同处理对葡萄叶片丙二醛含量的影响
Table 3 Effects of different treatments on MDA content of grape leaves μmol/g

处理编号 Treatment code	06-12	06-28	08-20	09-20	11-14
CK	8.58 a	9.14 b	9.10 b	9.04 c	9.68 b
GS	8.91 a	8.94 b	12.07 a	12.97 a	13.87 a
PS	7.29 a	11.34 a	12.77 a	13.03 a	13.27 a
FS	7.82 a	8.23 b	11.41 ab	10.03 bc	13.95 a
ES	7.79 a	8.48 b	10.28 ab	11.06 b	10.30 b
CS	8.39 a	9.25 b	12.36 a	9.97 bc	12.43 ab

注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著
Note: Different lowercase letters indicated significant differences at 0.05 level

2.3 水分胁迫对葡萄叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响 在整个生育期内,CK 处理葡萄叶片 SOD 含量较高,尤其在 6 月 12 日(新梢生长期)CK 处理的葡萄叶片 SOD 活性

达到最高,高于其他处理任何时期的含量;6月28日(开花期)CK处理葡萄叶片SOD含量显著高于PS、ES、CS处理;8月20日(果实膨大期)PS和ES处理葡萄叶片SOD含量显著低于CK,分别为CK的69.02%、68.72%;9月20日(着色成熟期)CK处理葡萄叶片SOD含量显著高于PS处理;11月14日(着色成熟中期)CK处理叶片SOD含量高于其他处理。

表 4 不同处理对葡萄叶片超氧化物歧化酶活性的影响
Table 4 Effects of different treatments on SOD activity of grape leaves
μg/(g·min)

处理编号 Treatment code	06-12	06-28	08-20	09-20	11-14
CK	309.57 a	276.52 a	237.15 a	226.78 a	187.55 a
GS	231.24 b	244.04 ab	236.06 a	228.08 a	186.19 a
PS	224.02 b	197.21 b	163.68 b	137.36 b	169.54 a
FS	293.69 ab	207.88 ab	204.25 a	212.87 a	145.52 ab
ES	235.07 b	157.94 b	162.98 b	216.03 a	123.58 b
CS	257.56 b	193.06 b	203.79 a	220.92 a	174.51 a

注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著
Note: Different lowercase letters indicated significant differences at 0.05 level

2.4 水分胁迫对葡萄叶片过氧化物酶(POD)活性的影响 6月12日(新梢生长期)各处理葡萄叶片POD活性无显著性差异;6月28日(开花期)FS处理葡萄叶片POD含量显著低于CK,仅为CK的36%;8月20日(果实膨大期)FS处理葡萄叶片POD含量仍最低,但有所增长,GS处理叶片POD含量明显增加,复水效果显著;9月20日(着色成熟期)各处理叶片POD含量均升高,而CS处理升高程度最小;11月14日(着色成熟中期)CK处理叶片POD含量达到最大,显著高于其他处理。

表 5 不同处理对葡萄叶片过氧化物酶活性的影响
Table 5 Effects of different treatments on POD activity of grape leaves
μg/(g·min)

处理编号 Treatment code	06-12	06-28	08-20	09-20	11-14
CK	3.33 a	8.73 a	12.43 a	30.47 a	56.01 a
GS	2.33 a	6.89 a	15.12 a	20.35 abc	30.77 b
PS	2.65 a	4.31 ab	6.78 b	19.08 abc	29.07 b
FS	3.65 a	3.15 b	5.89 b	24.27 ab	20.25 bc
ES	3.59 a	6.59 a	8.36 b	13.56 bc	20.83 bc
CS	4.21 a	4.51 ab	6.11 b	6.60 c	14.87 c

注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著
Note: Different lowercase letters indicated significant differences at 0.05 level

2.5 水分胁迫对葡萄纵横径的影响 从图 1 可以看出,随着膨大期后天数的增加,各处理葡萄纵径的膨大速度都呈快—慢—快的增长趋势;且存在 2 个膨大高峰期,第一个高峰出现在膨大期后 15~45 d,第二个高峰出现在膨大期后 75~90 d;在膨大期后 45~75 d,葡萄纵径膨大速度相对其他时期缓慢;在膨大期 60 d 之后,GS 处理的葡萄纵径大于其他处理。从图 2 可以看出,随着膨大期后天数的增加,各处理葡萄横径和纵径膨大过程相似,也呈“快—慢—快”的增长趋势,横径和纵径膨大高峰期相同。在膨大期 60 d 之后,GS 处理葡萄的横径也大于其他处理。

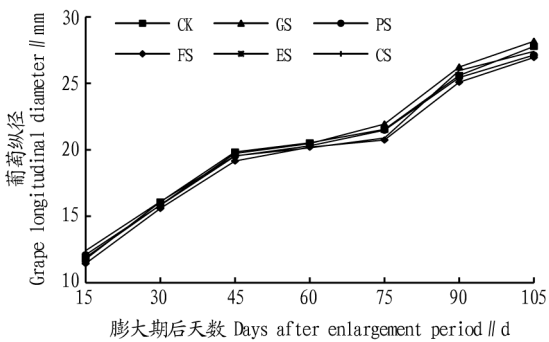


图 1 葡萄纵径生长情况
Fig.1 Growth situation of grape longitudinal diameter

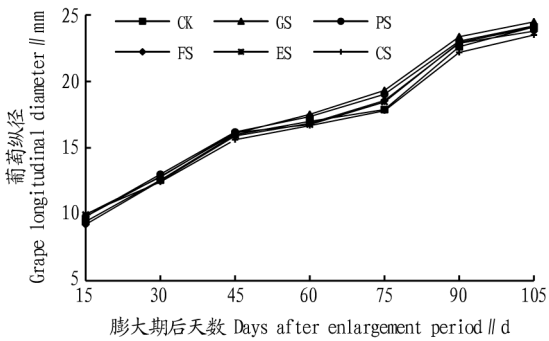
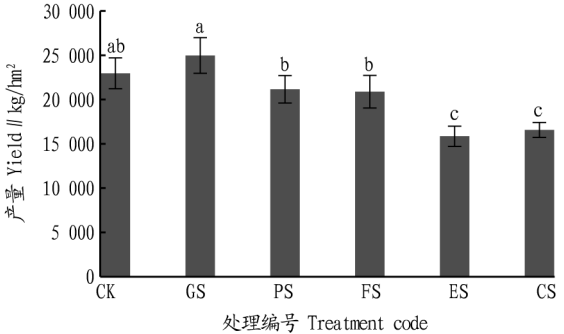


图 2 葡萄横径生长情况
Fig.2 Growth situation of grape transverse diameter

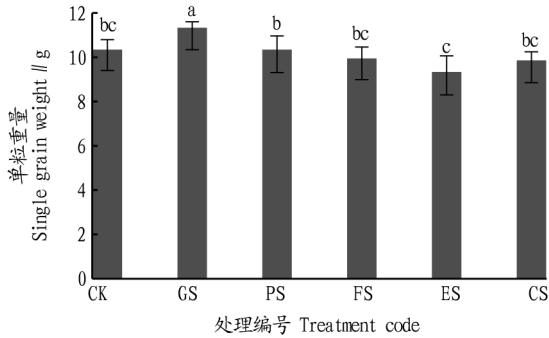
2.6 水分胁迫对葡萄产量的影响 从图 3 可以看出,不同时期的水分胁迫对葡萄产量和单粒重量均产生了一定的影响。GS 处理产量最高,显著高于 CK,而 CK、PS、FS、ES、CS 处理的产量分别比 GS 低 8.07%、15.28%、16.38%、36.52%、33.67%,因此果实膨大期进行水分胁迫会严重影响葡萄产量。从图 4 可以看出,GS 处理葡萄单粒重量最高,达到 11.27 g,显著高于 CK 处理,CK、PS、FS、ES、CS 处理单粒重量分别比 GS 处理低 8.87%、8.69%、12.16%、17.48%、12.60%,因此果实膨大期进行水分胁迫会严重影响葡萄单粒重量。



注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著
Note: Different lowercase letters indicated significant differences at 0.05 level

图 3 不同处理对产量的影响
Fig.3 Effects of different treatments on yield

3 讨论 脯氨酸可作为膜和酶的保护物质及自由基清除剂,从而对植物水分胁迫下的生长起到保护作用。在水分胁迫下,葡



注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著

Note: Different lowercase letters indicated significant differences at 0.05 level

图 4 不同处理对单粒葡萄重量的影响

Fig.4 Effects of different treatments on single grape weight

萄叶片中会积累大量的脯氨酸,这是植物对水分胁迫的一种适应^[16]。对设施延迟栽培葡萄进行水分胁迫处理时,葡萄叶片内脯氨酸的含量都会升高。由此可见,脯氨酸可保护缺水时的植物,但在 GS、PS、ES、CS 处理后期葡萄叶片脯氨酸含量却有明显的减少,该现象的出现有待进一步研究。水分胁迫对葡萄叶片脯氨酸含量的变化与常永义等^[17]的研究结果较为接近。

丙二醛含量的变化说明了细胞脂质过氧化强弱^[18]。CK 处理叶片脯氨酸含量在整个生育期都较低;而 PS 处理叶片脯氨酸含量一直呈增长的趋势,说明新梢生长期水分胁迫使葡萄叶片细胞膜脂质过氧化程度升高。萌芽期和新梢生长期水分胁迫处理的葡萄叶片 MDA 含量较 CK 无显著性差异;着色成熟期水分胁迫葡萄叶片 MDA 含量无明显降低,复水回补有限。水分胁迫对葡萄叶片 MDA 含量的影响与惠竹梅等^[19]研究结果一致。

在整个生育期内,对照葡萄叶片 SOD 含量较高,可见充分供水能使 SOD 酶活性增高,有利用葡萄的生长发育;果实膨大期水分胁迫对后期的葡萄叶片 SOD 酶活性有极为不利的影响,会严重抑制葡萄叶片 SOD 活性。水分胁迫使葡萄叶片 SOD 酶活性降低,这与刘建新等^[20]在苜蓿上的研究结果一致。

不同时期的水分胁迫均对葡萄叶片 POD 酶活性有一定的抑制作用,开花期水分胁迫使葡萄叶片 POD 活性降低,但降低程度不大;各水分胁迫处理对葡萄叶片 POD 酶活性影响不同。萌芽期和新梢生长期水分胁迫对 POD 酶活性影响不大,且复水回补明显^[21];在果实成熟期进行水分胁迫会明显降低葡萄叶片 POD 酶的活性。

各处理的葡萄纵径历经 2 个膨大高峰期,分别为膨大后期 15~45 d 和 75~90 d。在膨大后期 45~75 d,葡萄纵径膨大速度比其他时期缓慢;葡萄横径的变化与纵径相似。在膨大后期 60 d 后,GS 处理的纵、横径均大于其他处理,可见萌芽期水分胁迫有利于葡萄粒径的增长。

GS 处理产量最高,可见萌芽期进行水分胁迫不仅不会减产,而且会增加葡萄产量,但在果实膨大期进行水分胁迫

会严重影响葡萄产量,这与张芮等^[22]研究结果相似。GS 处理葡萄单粒重量最高,显著高于其他处理单粒葡萄的重量。

4 结论

水分胁迫使设施延后栽培葡萄叶片生理生化指标发生了一系列复杂的变化;水分胁迫显著增加了葡萄叶片脯氨酸含量,保护了缺少水分的植物;葡萄叶片中 MDA 含量因葡萄受到水分胁迫而呈增长的趋势,含量高于生育期充分供水的处理;水分胁迫降低了葡萄叶片中 SOD 活性,尤其在果实膨大期水分胁迫对后期葡萄叶片 SOD 活性有极为不利的影响;水分胁迫对于葡萄叶片中 POD 活性有一定的抑制作用,尤其在着色成熟期进行水分胁迫会严重抑制 POD 活性。在果实膨大期 60 d 后,GS 处理的葡萄纵横径均大于其他处理。从产量来看,对萌芽期进行水分胁迫产量达到最高;从葡萄单粒重量来看,GS 处理单粒葡萄重量最大,而在果实膨大期进行水分胁迫不仅会减产,而且会降低葡萄单粒重量,严重影响葡萄的经济效益。

参考文献

- [1] 高扬,杨丽芳,张晓玉,等.中国葡萄产业的现状、趋势与发展建议[J].河北果树,2007(2):1-2.
- [2] 中国农业水利简明区划编写组.中国农业水利简明区划[R].1981.
- [3] 王海波,王孝娣,王宝亮,等.中国设施葡萄产业现状及发展对策[J].中外葡萄与葡萄酒,2009(9):61-65.
- [4] 侍朋宝,陈海菊,柴菊华.水分胁迫条件下葡萄生理生化反应研究进展[J].中外葡萄与葡萄酒,2008(5):53-57.
- [5] 李英能.北方缺水地区旱地农业有限补灌模式探讨[J].中国工程科学,2012,14(3):41-45.
- [6] 马双艳,姜远茂,彭福田,等.干旱胁迫对苹果叶片中甜菜碱和丙二醛及脯氨酸含量的影响[J].落叶果树,2003,35(5):1-4.
- [7] 利容干,王建波.植物逆境细胞及生理学[M].武汉:武汉大学出版社,2002.
- [8] 王爱国,罗广华.植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J].植物生理学通讯,1990(6):55-57.
- [9] 齐建波,荣新民,陈虎,等.不同水分胁迫水平对葡萄叶水势及生理指标的影响[J].石河子大学学报(自然科学版),2011,29(4):437-441.
- [10] 吴敏,张文辉,周建云,等.干旱胁迫对栓皮栎幼苗根的生长与生理生化指标的影响[J].生态学报,2014,34(15):4223-4233.
- [11] 李绍华.果树生长发育、产量和果实品质对水分胁迫反应的敏感期及节水灌溉[J].植物生理学通讯,1993,29(1):10-16.
- [12] 刘小刚,张富仓,杨启良,等.调亏灌溉和施氮对玉米叶片保护系统的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(6):1080-1085.
- [13] 张芮,成自勇,李毅,等.小管出流亏缺灌溉对设施延后栽培葡萄产量与品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(20):108-113.
- [14] 张芮,成自勇,杨阿利,等.小管出流不同亏水时期对延后栽培葡萄耗水及品质的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(2):164-168.
- [15] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:211-218,228-230.
- [16] 王云中,韩忻彦,张建成,等.水分胁迫下葡萄叶片中几种物质含量的变化[J].华北农学报,2003,18(4):72-75.
- [17] 常永义,吴红,牛军强.干旱胁迫对葡萄叶片生理指标的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2005(2):11-14.
- [18] 姚允聪,张大鹏,王有年,等.水分胁迫条件下苹果幼苗叶绿体抗氧化代谢研究[J].果树科学,2000,17(1):1-6.
- [19] 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):146-149.
- [20] 刘建新,王鑫,王凤琴.水分胁迫对苜蓿幼苗渗透调节物质积累和保护酶活性的影响[J].草业科学,2005,22(3):18-21.
- [21] 何岸裕,安进强,张芮,等.不同生育期水分调亏对设施延后栽培葡萄叶片保护系统及产量品质的影响[J].水土保持学报,2016,30(3):196-201.
- [22] 张芮,成自勇,王旺田,等.不同生育期水分胁迫对延后栽培葡萄产量与品质的影响[J].农业工程学报,2014,30(24):105-113.