

根区土壤加温对塑料大棚内红地球葡萄生长发育和品质的影响

尹翠, 孙利鑫, 董艳, 曹震, 张亚红

(宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021)

摘要: 为研究塑料大棚内葡萄 *Vitis vinifera* 促成栽培中萌芽期根区土壤加温对树体生长发育、果实品质以及土壤温度的影响, 试验以 5 年生红地球葡萄 *Vitis vinifera* ‘Red Globe’ 为试材, 在需冷量满足后进行根区土壤加温处理, 设置 $(25\pm 1)^\circ\text{C}/(15\pm 1)^\circ\text{C}$ (昼/夜)(简称 T25)和 $(20\pm 1)^\circ\text{C}/(15\pm 1)^\circ\text{C}$ (昼/夜)(简称 T20)和对照(ck)等 3 个温度梯度, 探讨它们对土壤温度、葡萄物候期、树体生长发育和果实品质的影响。结果表明: 萌芽期 T25 和 T20 处理下土壤日平均温度分别比 ck 高 13.1°C 和 8.4°C ; 萌芽期分别比对照提早 26, 20 d, 始花期提早 27, 21 d, 成熟期提早 18, 10 d; 新梢长度和粗度、单株果穗数显著增加($P<0.05$); 可溶性固形物、维生素 C 质量分数增加, 酸质量分数降低, 果实品质提高; 果穗质量和单株产量均显著高于对照($P<0.05$)。说明萌芽期适当提高土壤温度可以使葡萄提早解除生态抑制性休眠, 提前进入萌芽, 果实品质改善, 提早上市。图 3 表 5 参 13

关键词: 园艺学; 根区土壤加温; 红地球葡萄; 生长发育; 品质

中图分类号: S663.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2016)06-1092-06

Growth, development, and quality of red globe grapes using root-zone soil heating in a plastic greenhouse

YIN Cui, SUN Lixin, DONG Yan, CAO Zhen, ZHANG Yahong

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: To study the effect of root-zone soil heating on growth, the fruit quality phenological phase, and berry quality of red globe grapes *Vitis vinifera* ‘Red Globe’ and on soil temperature in a plastic greenhouse, five-year-old red globe grapes were evaluated. The root-zone was heated during the early period of protected cultivation. Treatments were temperatures of $(25 \pm 1)^\circ\text{C} / (15 \pm 1)^\circ\text{C}$ (day/night) (T25), $(20 \pm 1)^\circ\text{C} / (15 \pm 1)^\circ\text{C}$ (day/night) (T20), and nature root-zone soil temperature as control (ck). Results showed that compared to the control, the average temperature of T25 and T20 treatment were increase by about 13.1°C and 8.4°C during the heating period, and the T25 treatment advanced bud burst 26 d, flowering period 27 d, and maturity 18 d; whereas, the T20 treatment advanced bud burst 20 d, flowering period 21 d, and maturity 10 d. Through adoption of LSD for variance analysis, $P=0.05$, the shoot length and coarseness, cluster weight, ear number per plant, and yield per plant were greater than the control. Also, compared to the control, grapes with root-zone heating conditions showed a higher concentration of total soluble solids and vitamin C content and lower titratable acidity in its juice meaning better berry quality. Thus, appropriate increases in soil temperature could allow this grape ecotype an earlier break in dormancy, an earlier advance into the bud stage, and therefore an earlier arrival at the market. [Ch, 3 fig. 5 tab. 13 ref.]

Key words: horticulture; root-zone heating; red globe grape; growth and development; quality

收稿日期: 2015-11-09; 修回日期: 2016-03-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31360493)

作者简介: 尹翠, 从事设施园艺果树学研究。E-mail: 1083265273@qq.com。通信作者: 张亚红, 教授, 博士, 博士生导师, 从事设施园艺环境研究。E-mail: zhyhcau@sina.com

设施栽培对延长鲜食葡萄 *Vitis vinifera* 供应期, 调节市场淡季, 增加果农收入, 满足人民生活需求具有重大作用^[1], 已成为中国鲜食葡萄发展的主要方向^[2]。塑料大棚为中国北方设施果树反季节生产中重要的设施形式之一, 但其温度调控能力较弱^[3], 导致果树促成栽培中果品延迟上市。落叶果树开花早晚, 在理论上主要受 2 个因子控制, 一是休眠期低温的积累, 即要积累一定的需冷量。即果树在自然休眠期内有效低温的累积时数。二是开花前需要一定的积温才能萌芽开花, 即要积累一定的需热量。需热量是指落叶果树从内休眠结束至盛花所需的有效热量累积又称热量单位累积量或需热积温。需热量在树种、品种间存在差异, 在一定程度上影响开花正常与否以及花期的早晚。塑料大棚可以通过反保温处理的方式(保温被白天覆盖夜间揭开)提前满足落叶果树的低温需求, 但升温管理后(保温被白天揭开夜间覆盖), 棚内白天气温能够满足芽萌发环境条件, 但由于夜间失热, 土温上升缓慢, 达不到萌发所需的热量, 果树处于生态抑制性休眠阶段, 造成塑料大棚中同品种葡萄比日光温室中的晚萌发 1 个月。葡萄生长的关键因子是气象条件, 其中温度是最重要的生态因子, 它对葡萄树体生长发育、物候期及成熟期进程有着重要影响, 从而影响葡萄产量及品质^[4]。有关果树利用加温设备或日光温室等进行促成栽培的研究报道较多^[5-8], 但加温设备种类多, 加温效果不一。目前, 国内使用电加温的报道主要集中在育苗、栽培技术等方面, 对影响生长发育方面报道不多。使用电加温的方法能有效解决棚内极端低温问题, 使塑料大棚在冬季能够种植喜温植物^[9-12]。试验对冬季塑料大棚内休眠结束后的葡萄进行根区土壤加温处理, 探讨其对设施葡萄环境因子、物候期、产量、品质效益及提早上市的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2013 年与 2014 年在宁夏小任果业发展有限公司的塑料大棚内进行。塑料大棚长 96.00 m, 跨度 16.00 m, 脊高 4.25 m, 南北延长, 为钢架结构, 覆盖材料为聚乙烯(PE)薄膜, 保温覆盖材料为棉被。以 5 年生且生长发育良好的红地球葡萄 *Vitis vinifera* ‘Red Globe’ 为试材。

1.2 试验方法

1.2.1 温度的设置与测定 2013 年 11 月 8 日对塑料大棚内红地球葡萄扣棚反保温管理(白天覆盖保温被弱光低温, 夜间揭开保温被降温), 期间将棚内气温控制在 0~7.2 °C, 以满足红地球葡萄解除休眠的低温需求量。12 月 1 日升温管理(保温被白天揭开夜间覆盖), 同时对土壤温度做以下处理: 选择 3 个大小相同区域, 其中 2 个区域分别将土壤温度利用发热电缆加热至(25±1) °C/(15±1) °C(昼/夜)(T25), (20±1) °C/(15±1) °C(昼/夜)(T20)处理, 选择生长良好的 6 行葡萄, 在距离葡萄主根 40 cm 处地表下 30 cm 铺设电热线(电热线固定在纳米材料板上)之后覆土, 覆盖黑色地膜保温, 外接控温仪控制温度(控温仪设置断电温度为 26 °C/16 °C 和 21 °C/16 °C); 另外 1 个区域作对照(ck); 地表覆盖黑色地膜, 保持棚内自然土壤温度。安装加热设备后, 在各个处理地表下(离葡萄根系 30 cm)垂直方向 10, 20, 30 cm 处理设温度探头, 重复 2 次, 2014 年 2 月 18 日停止加温。试验采用随机区组设计, 2 行(20 株)为 1 小区, 重复 3 次, 各处理间设置保护行。

1.2.2 测定项目及方法 ①塑料大棚内温度监测。采用美国 Campbellsci 公司生产的 CR10X, CR800 数据采集器和相关温度传感器对休眠期至萌芽期棚内空气温度和土壤温度变化进行连续观测, 15 min 采集 1 次。②物候期调查。在葡萄需冷量满足后进行揭苫升温管理, 同时对 2 个加温处理区域进行加热。物候期、萌芽率、新梢生长等指标调查参照刘崇怀等^[8]的方法, 随机选取生长健壮、树势相近的 5 株树作为固定观察树, 调查萌芽率、萌芽 20 d 后开始测定新梢变化, 标记 6 株葡萄新梢 18 个·处理⁻¹, 每周测定新梢长度和粗度。从伤流期开始 5~7 d 记录物候期 1 次, 萌芽期和花期 2~3 d 记录 1 次。③品质测定。果实成熟后, 随机取穗果 5 个·处理⁻¹, 测定其穗质量、粒质量、横径、纵径、可溶性固形物质量分数、可滴定酸质量分数以及维生素 C 质量分数变化^[9], 采收后测定产量。穗质量和粒质量分别用德国赛多利斯公司的 BL3 型和 BP3100S 型电子天平测量; 可溶性固形物质量分数用 PAL-1 数显手持数显糖度计测量; 可滴定酸质量分数采用酸碱中和反应; 维生素 C 质量分数采用钼蓝比色法测定。

1.3 统计方法

采用 5 日滑动法处理温度数据曲线, 运用 Excel 2007 和 SAS 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 塑料大棚内空气温度和土壤温度变化

如图1所示:2013年11月8日至12月1日进行扣棚反保温管理后气温降低,日平均气温变化较稳定,为0~7.2℃,但也出现0℃以下的最低温,气温基本满足葡萄休眠对温度的要求。12月29日后,塑料大棚开始升温管理(保温被白天揭开夜间覆盖),气温呈上升趋势并稳定在较高水平,能够满足红地球葡萄需热量的积累,葡萄由休眠逐渐进入萌芽。2014年2月2日至2月9日,出现低温是由于下雪导致外界气温骤然下降,之后温度迅速回升。

图2为2013年12月至2014年2月塑料大棚内各处理20.00 cm处土壤日平均温度变化图。可知:休眠期(11月8日至12月1日)各处理的土壤日平均温度为2.0~7.0℃,能够满足葡萄需冷量的需求。12月1日升温后,T20和T25处理下土壤温度变化相对稳定,波动范围分别为18.0~22.0℃和23.0~27.0℃,加温期间1月22日出现最低值为18.1℃。对照处理从1月20日开始变动在9.8~16.9℃。停止加温后(2月18日),3个处理的根区土壤温度一致。各处理均能满足葡萄发芽的积温需求。

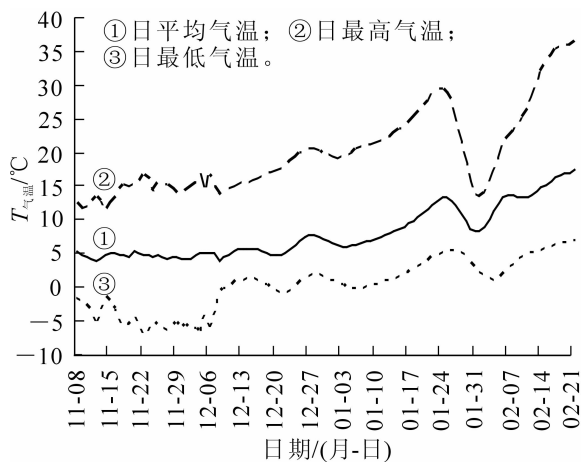


图1 塑料大棚内空气温度变化

Figure 1 Air temperature change within plastic greenhouses

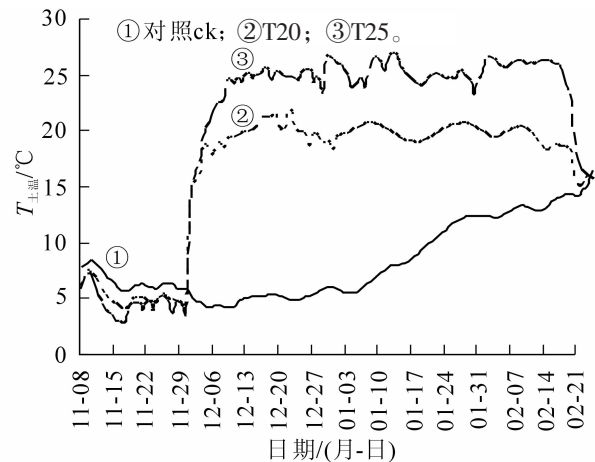


图2 塑料大棚内土壤温度变化

Figure 2 Soil temperature change within plastic greenhouses

2.2 根区加温对塑料大棚内红地球葡萄物候期的影响

2.2.1 对葡萄萌芽率的影响 由表1可以得出:2013年12月2日葡萄需冷量满足后,随着需热量的逐步累积,3种处理下葡萄的萌芽率呈逐步上升趋势。其中T25处理在2014年1月11日结束萌芽期,萌芽所需天数为39 d;其次为T20处理,1月17日结束萌芽期,萌芽所需天数为45 d;最后为对照ck,2月7日结束萌芽期,萌芽所需天数为67 d。T25比T20提前6 d结束萌芽期,比ck提前28 d结束萌芽期。说明适当提高土壤温度可以提早打破塑料大棚内葡萄的生态抑制性休眠,提前解除休眠,提早萌芽,最终达到提早上市效果。

2.2.2 对葡萄物候期的影响 由表2可以得出:塑料大棚根区土壤加温处理对物候期的长短均有不同程度的影响。T25和T20的萌芽期分别比ck提早26 d和20 d,始花期分别提前27 d和21 d,成熟期分别提早18 d和10 d,使成熟期提早到6月上旬至6月中旬。T25比T20萌芽期提早6 d,花期和成熟期均提早7 d。由此可知:根区加温可以明显提早葡萄物候期,其中T25处理促早效果最佳。T25处理和T20处理萌芽至成熟时间较对照拉长8~10 d。说明设施葡萄的成熟期与萌芽早晚直接相关。

2.3 根区加温对塑料大棚内红地球葡萄生长发育的影响

2.3.1 对葡萄新梢长度和粗度的影响 由图3可知:根区土壤加温对葡萄新梢长度和粗度具有一定的影响,3种处理下新梢生长规律基本相似。由于T25和T20处理萌芽比ck早,新梢生长动态表现为“单S”型曲线,长度和粗度均大于ck。萌芽约2个月后(4月7日摘心)新梢几乎停止生长,变化较稳定。葡萄树体结构和留梢密度、摘心方法,对其生长发育,果实质量和产量都有直接影响。

2.3.2 对葡萄花穗发育的影响 由表3可知:根区加温对单株新梢数的影响较小,各处理间差异不显

表 1 根区加温处理和对照葡萄萌芽率及萌芽天数统计

Table 1 Statistics of germination rate and germination number with root zone soil heating and control for grape

日期/(月-日)	不同温度处理下葡萄萌芽率/%			日期/(月-日)	不同温度处理下葡萄萌芽率/%		
	T25	T20	ck		T25	T20	ck
01-02	5.0			01-17		61	
01-05	15.0			01-29			3.0
01-07	28.0			02-01			12.0
01-09	46.0	4.0		02-03			23.0
01-11	60.0	18.0		02-05			39.0
01-13		32.0		02-09			62.0
01-15		42.0					

说明：T25 萌芽天数为 39 d；T20 萌芽天数为 45 d；ck 萌芽天数为 67 d。

表 2 根区加温处理对葡萄物候期的影响

Table 2 Effects of root zone soil heating on the phenological phase of grape

处理	物候期/(月-日)				
	萌芽期	始花期	终花期	着色期	成熟期
T25	01-11	02-21	03-01	05-14	06-13
T20	01-17	02-28	03-08	05-23	06-20
ck	02-07	03-19	03-27	05-27	07-01

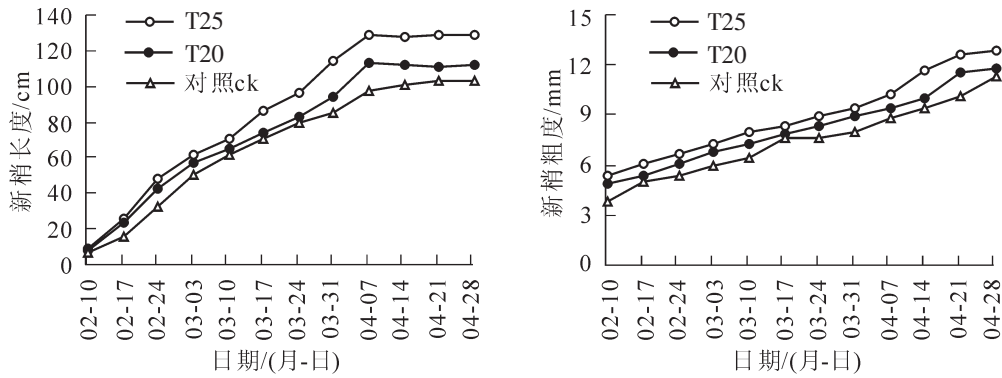


图 3 塑料大棚内葡萄新梢长度和粗度变化

Figure 3 Length and coarseness of grape shoots within plastic greenhouses

著，T25 处理下单梢花穗数和单株果穗数均比 T20 处理和 ck 多，存在显著性差异 ($P < 0.05$)，T20 处理与 ck 之间单梢花穗数存在显著性差异 ($P < 0.05$)，单株果穗数差异不显著。说明适当提高萌芽期土壤温度可增加花穗数和果穗数，可提高产量。

2.4 根区加温对塑料大棚内红地球葡萄品质的和产量的影响

2.4.1 对葡萄品质的影响 表 4 为不同处理下成熟果粒的品质性状。由表 4 可得：3 种处理间果粒横径、纵径、果粒质量差异不显著，T25 处理平均穗质量与 ck 存在显著性差异 ($P < 0.05$)。T25 处理可溶性固形物和维生素 C 质量分数均比 ck 高，与 T20 处理差异不显著。T25 处理比 ck 酸质量分数低，可溶性固形物和维生素 C 质量分数分别比 ck 高，存在显著性差异 ($P < 0.05$)，与 T20 总酸质量分数和维生素 C 质量分数无显著差异，与可溶性固形物质量分数存在显著性差异 ($P < 0.05$)。T20 处理与 ck 可滴定酸质量分数和可溶性固形物质量分数无显著差异，与维生素 C 质量分数有显著性差异 ($P < 0.05$)。说明适当提高土壤温度可促进可溶性固形物和维生素 C 质量分数的积累和可滴定酸的下降，提高葡萄果实的品质。

表 3 根区加温处理对花穗发育的影响

Table 3 Effects of root zone soil heating on development of inflorescence for grape

处理	单株新梢数/(个·株 ⁻¹)	单梢花穗数/(个·梢 ⁻¹)	单株果穗数/(个·株 ⁻¹)
T25	7 a	1.4 a	6 a
T20	5 a	1.2 b	4 b
ck	5 a	0.9 c	4 b

说明：同列不同小写字母表示差异显著性达 $\alpha = 0.05$ 水平。

表4 根区加温处理对葡萄品质的影响

Table 4 Effects of root zone soil heating on quality for grape

处理	果粒横径/mm	果粒纵径/mm	果粒质量/g	果穗质量/g	可溶性固形物 /(g·kg ⁻¹)	可滴定酸/ (g·kg ⁻¹)	维生素 C /(mg·kg ⁻¹)	固酸比
T25	26.68 a	23.01 a	8.14 a	781.51 a	172.8 a	2.4 a	12.71 a	72.29
T20	25.67 a	22.52 a	7.77 a	773.67 a	161.6 ab	2.6 a	12.40 a	62.23
ck	26.24 a	22.83 a	8.08 a	667.35 b	145.3 b	3.1 b	8.90 b	47.19

说明：同列不同小写字母表示差异显著性达 $\alpha=0.05$ 水平。

2.4.2 对葡萄产量和效益的影响 由表5可以得出：根区加温处理能明显提高葡萄栽培效益。由于管理中实行控产栽培，各处理间产量差异不大，物候期的提早使塑料大棚 T20 和 T25 处理的批发价格由 12.00 元·kg⁻¹ 分别提高到 15.00 元·kg⁻¹ 和 20.00 元·kg⁻¹，产值提高了 35.40% 和 83.00%，虽然加温成本明显高于对照处理，但 T20 和 T25 处理的效益分别比对照处理提高了 60.00% 和 45.20%，增效明显。

3 结论

通过根区土壤增温方式，可降低日最高温度，提高日最低温度。萌芽期 T25 和 T20 处理下土壤日平均温度分别比对照(ck)高 13.1 °C 和 8.4 °C。在休眠期，通过反保温措施，使空气温度和土壤温度均在 0~7.2 °C 范围内，满足葡萄需冷量的需求，萌芽期通过土壤增温方式，能够满足其需热量的要求。

根区土壤加温处理对葡萄物候期的长短均有不同程度的影响。T25 和 T20 处理的萌芽期分别比 ck 提早 26 d 和 20 d，始花期分别提前 27 d 和 21 d，成熟期分别提早 18 d 和 10 d；T25 处理比 T20 处理萌芽期提早 6 d，花期和成熟期均提早 7 d，单梢及单株花穗数显著多于 ck。

在葡萄萌芽期通过根区土壤增温处理对果实品质有不同的影响，T25 处理比 ck 可滴定酸质量分数低，可溶性固形物高和维生素 C 质量分数高。T20 和 T25 处理使葡萄的产值比 ck 提高了 35.40% 和 83.00%，效益分别提高了 60.00% 和 45.20%，增效明显。

4 讨论

花穗发育差是由于在加温时地上部开始活动，根系温度较低，根际营养供应不足^[9-10]。在本研究中，土壤增温没有造成同一个塑料大棚内空气温度的差异，土壤温度提高后，适宜的根际温度有利于根系不断合成细胞分裂素并向上运输，影响芽的休眠进程，从而使葡萄提早解除休眠，缩短了萌芽期，提早成熟。KLEWER^[11]研究表明：赤霞珠 *Vitis vinifera* ‘Cabernet Sauvignon’ 葡萄根区温度设置为 11~35 °C，地温越高，新梢生长越快，叶片数越多，叶面积越大。王世平等^[12]研究结果表明：通过根区加温可以提高葡萄促成栽培，早期土壤温度约 10 °C，各物候期均早于未加温处理 2~5 d，新梢生长好，叶面积大，花穗发育好，单株果穗数显著增加，能提高果实品质，果粒质量、果穗质量和单株产量均显著高于未加温处理。徐小菊等^[13]研究表明：双膜和加温处理的日最高温度比单膜和对照分别降低了 3.4 °C 和 4.8 °C，成熟期提早在 5 月底，经济效益分别提高了 69.1% 和 116.6%。由此可知：若在设施葡萄促成栽培的萌芽期，进行根区加温，可促进新根的发生、代谢和对地上部的营养供给，使花穗发育得到改善。

植物界中广泛存在有机酸，它们的主要作用是在植物的新陈代谢领域，成熟葡萄果实中的有机酸主要为酒石酸，其次是苹果酸，两者之和占总酸量的 90% 以上^[22]。本研究结果表明：在葡萄萌芽期设置电热线加热根区，对果实品质有不同的影响，3 种处理间果粒横径、纵径、果粒质量、差异不显著，T25 处理平均穗质量与对照存在显著性差异。T25 处理比对照酸质量分数低，可溶性固形物和维生素 C 质量分数高，存在显著性差异。适当提高土壤温度可促进可溶性固形物和维生素 C 的积累、可滴定酸的下降，提高了葡萄果实的品质。T20 和 T25 处理葡萄产值分别比对照提高了 35.40% 和 83.00%，虽然加温

表5 根区加温处理对经济效益的影响

Table 5 Effects of root zone soil heating on economic efficiency for grape

处理	产量/(kg·667 m ⁻²)	单价/(元·kg ⁻¹)	产值/(元·667 m ⁻²)
T25	1 500.00	20.00	30 000.00
T20	1 460.00	15.00	21 900.00
ck	1 360.00	12.00	16 320.00

成本明显高于对照处理, 但 T20 和 T25 处理的效益分别比对照处理提高了 60.00% 和 45.20%, 增效明显。

4 参考文献

- [1] 罗全勋, 李玉鼎, 纳卫华, 等. 阴阳结合型日光温室葡萄促成与延后栽培技术[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2010(5): 47 - 51.
LUO quanxun, LI yuding, NA weihua, *et al.* Forcing and prolongation cultivation technique of grape in the solar greenhouse of type combining light with shade [J]. *Sino-Overseas Grap Wine*, 2010(5): 47 - 51.
- [2] 王其松. 欧亚种葡萄大棚栽培试验[J]. 浙江农业科学, 2000(2): 92 - 93.
WANG Qisong. Eurasian grape cultivation experiment on greenhouse [J]. *J Zhengjiang Agric Sci*, 2000(2): 92 - 93.
- [3] 陈端生. 中国节能型日光温室的理论和实践[J]. 农业工程学报, 2001, 17(1): 22 - 26.
CHEN Duansheng. Theory and practice of energy-saving solar greenhouse in China [J]. *Trans CSAE*, 2001, 17(1): 22 - 26.
- [4] 冯玉龙, 刘恩举, 孟庆超. 根系温度对植物的影响(II)根温对植物代谢的影响[J]. 东北林业大学学报, 1995, 23(4): 94 - 99.
FENG Yulong, LIU Enju, MENG Qingchao. Influence of temperature of root system on plant (II) influence of root temperature on plant metabolism [J]. *J Northeast For Univ*, 1995, 23(4): 94 - 99.
- [5] 白岗栓, 施立民, 杜社妮. 陕北日光温室葡萄的促成栽培[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 1998(1): 8 - 10.
BAI Gangshuan, SHI Limin, DU Shen. Grape of forcing cultivation of solar greenhouse in Shaanxi [J]. *Sino-Overseas Grap Wine*, 1998(1): 8 - 10.
- [6] 樊植仁, 梁宝岩, 徐光华. 日光温室葡萄和草莓高效立体栽培[J]. 农业科技通讯, 1994(4): 15.
FAN Zhiren, LIANG Baoyan, XU Guanghua. Grape and strawberry efficient three-dimensional cultivation of sunlight greenhouse [J]. *Bull Agricul Sci Technol*, 1994(4): 15.
- [7] 樊景宏, 韩家瑞, 唐小宁, 等. 葡萄日光温室高效栽培技术[J]. 河北果树, 1996(3): 28 - 30.
FAN Jinghong, HAN Jiarui, TANG Xiaoning, *et al.* High benefit cultivation techniques of grape within solar greenhouse [J]. *Hebei Fruits*, 1996(3): 28 - 30.
- [8] 刘崇怀, 沈育杰, 陈俊, 等. 葡萄种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [9] 齐飞, 周新群, 张跃峰, 等. 世界现代化温室装备技术发展及对中国的启示[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 279 - 285.
QI Fei, ZHOU Xinqun, ZHANG Yuefeng, *et al.* Development of world greenhouse equipment and technology and some implications to China [J]. *Trans CSAE*, 2008, 24(10): 279 - 285.
- [10] 久保田尚浩, 江川俊之, 島村和夫. 加温時期異なるブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の根の生長及びその活性に及ぼす地温の影響[J]. 園芸学会雑誌, 1987, 56(3): 280 - 286.
KUBOTA N, EGAWA T, SHIMAMURA K. Effect of root temperature under forced conditions on root growth and root activity of ‘Muscat of Alexandria’ vines [J]. *J Jpn Soc Horitic Sci*, 1987, 56(3): 280 - 286.
- [11] KLEWER W M. Effect of root temperature on bud break shoots growth and fruit-set of *Cabernet sauvignon* grapevines [J]. *Am J Enol Vitic*, 1975, 26(2): 82 - 89.
- [12] 王世平, 费全风, 秦卫国, 等. 根域加温对促成栽培绯红葡萄生长发育的影响[J]. 果树学报, 2003, 20(3): 182 - 185.
WANG Shingping, FEI Quanfeng, QIN Weigu, *et al.* Effects of root-zone heating on growth and development of cardinal grapevine under protected cultivation [J]. *J Fruit Sci*, 2003, 20(3): 182 - 185.
- [13] 徐小菊, 何风杰, 江海娥, 等. 双膜和加温对藤稔葡萄坐果及品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(6): 1261 - 1266.
XU Xiaoj, HE Fengjie, JIANG Haie, *et al.* Effects of double membrane mulching and heating on fruit set and fruit quality of Fujiminori grape [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2013, 25(6): 1261 - 1266.