

宁夏地区设施葡萄需冷量和需热量研究

郭松涛,张亚红*,李 琴,张晓丽,付玉芳,刘 帅

(宁夏大学农学院,银川 750021)

摘 要:【目的】通过研究宁夏地区设施葡萄品种的需冷量、需热量及二者之间的关系,筛选出适合估算该地区设施栽培葡萄需冷量、需热量的估算模型,为设施葡萄生产提供理论依据和参考。【方法】以宁夏地区设施栽培常用的8个葡萄品种为试材,利用3种需冷量估算模型(≤ 7.2 °C模型、0~7.2 °C模型和犹他模型)和6种需热量估算模型(生长期小时模型、有效积温模型、最大积温模型、温度最大值累计模型、平均温度累计模型和热量模型)估算3 a(年)内各品种休眠期需冷量和萌芽期需热量;比较不同估算模型对估算结果的年际间变异系数,探究需冷量与需热量之间的关系。【结果】宁夏地区设施栽培葡萄需冷量因品种不同差异较大,其中‘汤姆逊’品种需冷量最高,‘白宝石’品种需冷量最低,3 a内8个葡萄品种需冷量依次为‘汤姆逊’>‘6-12’>‘红地球’>‘维多利亚’>‘红十月’>‘贵妃玫瑰’>‘奥古斯特’>‘白宝石’;品种间需热量差异较小,其中‘白宝石’品种需热量最高,‘红地球’品种需热量最低,3 a内8个葡萄品种需热量依次为‘白宝石’>‘贵妃玫瑰’>‘维多利亚’>‘6-12’>‘奥古斯特’>‘红十月’>‘汤姆逊’>‘红地球’。对于供试葡萄品种需冷量的估算,犹他模型效果最好,3 a内的变异系数为5.66%;对于需热量的估算,以生长期小时模型最为稳定,3 a内的变异系数为3.83%。尽管葡萄需冷量和需热量均与其浆果成熟期无必然联系,但无论以何种模型估算需冷量与需热量,二者之间都呈负相关。【结论】宁夏地区以犹他模型估算品种需冷量、生长期小时模型估算品种需热量最适宜;需冷量与需热量之间呈负相关。

关键词:葡萄;设施栽培;宁夏地区;休眠;萌芽;需冷量;需热量

中图分类号:S663.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2020)07-0997-11

Chilling and heat requirements of grape cultivars under protected culture in Ningxia area

GUO Songtao, ZHANG Yahong*, LI Qin, ZHANG Xiaoli, FU Yufang, LIU Shuai

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

Abstract:【Objective】China is the largest country for grape (*Vitis vinifera* L.) cultivation in the world. Grape can be grown in open field and in protected field, and the protected culture has become more popular in recent years in China. Usually a chilling requirement is necessary for breaking the winter dormancy and a heat requirement is necessary for initiating bud burst of grape. Insufficient chilling requirement and heat requirement would delay the bud burst, inflorescence degradation, and growth of new shoots, leading to poor production low quality of fruits. The experiment was designed to study the chilling requirement, heat requirement and the relationship between them of grape under protected culture in Ningxia, and to screen a suitable model for measuring the chilling requirement and heat requirements for grapes cultivated in protected condition in this region.【Methods】The experimental materials were six-year-old grape vines of ‘Red Globe’ ‘Red October’ ‘Victoria’ ‘Thompson’ ‘Royal Rose’ ‘White Stone’ ‘6-12’ ‘August’ in Ningxia, 3 models of estimation of chilling requirement (≤ 7.2 °C model, 0-7.2 °C model and Utah model) were used to estimate the chilling requirement for breaking the dormancy, and 6 models of estimation of heat requirement (growing degree hours model, effective accumulated

收稿日期:2020-03-06 接受日期:2020-04-23

基金项目:国家自然科学基金(31360493)

作者简介:郭松涛,男,在读硕士研究生,研究方向为设施园艺环境调控。Tel:18693193023, E-mail:893525972@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13995470960, E-mail:zhyhcau@sina.com

temperature model, maximum accumulated temperature model, maximum temperature accumulation model, average temperature accumulation model and heat model) were employed to estimate heat requirement for the bud burst after the dormancy. The chilling requirement and the heat requirement were estimated, in the past three years and the coefficients of the variations between the different estimation models were used to select the most suitable chilling requirement and heat requirement models for this region. At the same time, SPSS software were used to determine the correlation between the chilling requirements and the heat requirements estimated by different models.【Results】Through three consecutive years of estimation of the chilling requirements of grape under the protected culture via three models, the smallest inter-annual coefficient of variation was obtained by the Utah model. A big difference in the chilling requirements among the 8 grape varieties in Ningxia was found. ‘Thompson’ had the highest chilling requirement, with 562-622 h (≤ 7.2 °C model), 535-582 h (0-7.2 °C model) and 518-544 CU (Utah model); ‘White Stone’ had the lowest chilling requirement, with 166-185 h (≤ 7.2 °C model), 162-179 h (0-7.2 °C model), 155-165 CU (Utah model). The comparison among three models showed that the Utah model had the lowest coefficient of variation with 5.66%, which should be more suitable for estimating the chilling requirement in the region. By comparing the temperature accumulation of the different heat requirement models in the same period of the three years, it was found the growing degree hours model had the smallest coefficient of variation. There was a little difference in the heat requirement among grape varieties. The growing degree hours model had the smallest variation coefficient among the six heat requirement estimation models for inter-annual three years, which was 3.83%, indicating that the growing degree hours model should be the most stable for the estimation of the heat requirement in the region. There was a negative correlation between the heat requirement and the chilling requirement. although the chilling requirement and the heat requirement of grape was not inevitably related to the fruit maturity period.【Conclusion】In conclusion, the Utah model and the growing degree hours model would be most suitable for estimating the chilling requirement and the heat requirement of the grape cultivars under protected culture in Ningxia, and there was a negative correlation between the chilling requirement and the heat requirement.

Key words: Grape; Protected culture; Ningxia area; Dormancy; Bud germination; Chilling requirement; Heat requirement

设施栽培技术是葡萄生产的重要方式,近十几年来在我国北方地区呈现出迅猛的发展势头^[1]。作为露地栽培的特殊形式,葡萄设施栽培能够在不适宜葡萄生长发育的地区或季节,利用保护设施改善或控制葡萄生长所需的环境条件,达到优质、高产的生长可控模式,并成为反季节销售和提高经济效益的有力保障^[2]。

在设施果树栽培中,萌芽时间通常是由低温积累所得的需冷量和升温后的需热量共同决定的^[3]。葡萄由于外界环境条件不适宜生长而被迫进入深休眠,须经过一段时间的低温蓄冷解除胁迫后再进行有效温度积累才能使其正常萌发,而过早升温迫使葡萄萌芽会引起萌芽缓慢、新梢生长不均匀、节间短、叶片较小和花序退化等问题,最终导致

生长不协调、结果不良、果实品质降低、产量下降等后果^[4]。所以,在经过低温胁迫后,一定时间的热量积累(需热量)显得尤为重要。对于设施葡萄栽培,萌发展叶早晚主要受各品种需冷量和需热量共同控制,两者相互作用协同调控于整个休眠期与萌芽期,因此研究有关设施栽培葡萄品种的需冷量与需热量是完成设施果树栽培优质、高产的重要途径。

近年来,需冷量和需热量在果树栽培中非常重要,其报道与研究受到广泛关注。目前需冷量和需热量主要是根据物候学模型进行估算而非生理学模型。由于植物物候的限制,其生理休眠解除日期和萌芽展叶日期的准确性常常受环境条件的影响。最近几年,国内外研究者对需冷量研究较多,

并且根据不同环境条件的限制引发出多种统计需冷量的估算模型,而需热量较多采用生长度小时模型和有效积温模型进行估算^[5],很少采用其他模型进行萌芽期需热量的估算。Ruiz等^[6]利用 ≤ 7.2 °C模型、犹他模型和生长度小时模型对10个杏树品种进行需冷量与需热量研究,估算杏树的需冷量介于267~738 h(≤ 7.2 °C模型)、596~1 266 CU(犹他模型),需热量介于4 078~5 879 GDH °C(生长度小时模型);Guo等^[7]利用同样方法估算北京地区杏树需冷量与需热量,发现此地区杏树需冷量在1 122 h、776 C·U左右,需热量在3 055 GDH °C左右。在已有的研究中,两者呈正相关、负相关和不相关的试验结论均有报道,这些差异可能由于葡萄生长的设施环境条件以及统计需冷量、需热量模型的不同而造成,但一般认为萌芽期需热量受冬季低温积累的需冷量影响^[8]。

笔者在前人研究的基础上,利用3种需冷量估算模型和6种需热量估算模型在3年内对宁夏地区设施栽培的8个葡萄品种的冬季休眠需冷量和春季升温需热量进行估算,分析葡萄需冷量和需热量之间的关系,避免因需热量或需冷量不足而导致葡萄萌芽异常、结果缓慢;同时分析比较各模型估算结果的年际间变异系数,筛选出设施葡萄需冷量和需热量的最佳估算模型,为设施葡萄生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料及地点

试验地点位于宁夏园艺产业园区(东经106°16',北纬38°20'),年平均日照时数2 800~3 000 h,年平均气温8.5 °C左右。于2016年10月至2019年5月在园区玻璃温室A内进行。试验试材为宁夏地区设施主栽的葡萄欧亚种(*Vitis vinifera*)的8个品种:1. '红地球'('Red Globe')、2. '红十月'('Red October')、3. '维多利亚'('Victoria')、4. '汤姆逊'('Thompson')、5. '贵妃玫瑰'('Royal Rose')、6. '白宝石'('White Stone')、7. '6-12'、8. '奥古斯特'('August'),均为6 a生自根苗。8个品种生长健壮,在温室内呈南北向排列、平行种植,株距×行距都为0.5 m×1 m,单干双臂方式整形,篱架栽培,同一时间内8个品种所处的生态环境基本一致,在试验期间进行常规管理。

1.2 方法

1.2.1 生理休眠解除日期的确定 根据前人试验及实践经验,参照王海波等^[9]的方法,于2016年11月至2019年2月期间每年冬季,每7 d采样1次,每次每品种采集20个芽,样品采回后立即放入光照培养箱(SPX-250D型)中进行清水插枝培养。1)培养条件为:温度昼20 °C,夜5 °C左右,光照强度2 000 lx,空气相对湿度为65%~70%,每隔3 d换1次水,并在每次换水后将基部减去少许,露出新茬。利用温度记录仪ZDR-41(杭州泽大仪器制造公司制造)及温湿度记录仪ZDR-20记录设施环境内的温湿度,每隔15 min记录1次。2)生理休眠解除标准:培养20 d左右,有效热量累积[有效热量累积=∑(小时平均温度-生物学零度),葡萄的生物学零度为10 °C]达3 600 h·°C后,萌芽率(%)=萌发展叶芽的数目/总芽数×100,若萌芽率为50%~60%,则本次采样培养日期为此品种葡萄的生理休眠解除日期;若萌芽率为60%~70%,则本次采样培养与上次采样培养的中间日期为此品种葡萄的生理休眠解除日期;若萌芽率大于70%,则上次采样培养日期为此品种葡萄的生理休眠解除日期。

1.2.2 需冷量的估算 葡萄需冷量是指其解除生理休眠所需的低温积累时数或单位数,从有效低温积累起始之日至生理休眠解除之日时间段内的有效低温积累,研究中常用 ≤ 7.2 °C模型、0~7.2 °C模型和犹他模型作为估算葡萄休眠期间的需冷量^[10]。 ≤ 7.2 °C模型和0~7.2 °C模型均以秋季日均温度稳定通过7.2 °C时的日期作为有效低温积累的初始日期,其中前者以打破休眠所需的 ≤ 7.2 °C低温积累小时数作为需冷量, ≤ 7.2 °C低温积累1 h记为1 h;后者是以打破休眠所需的0~7.2 °C低温积累小时数作为需冷量,0~7.2 °C低温积累1 h记为1 h,两者单位均为h。而犹他模型以秋季负累积低温单位绝对值达到最大值时的日期作为有效低温积累的起点,其中2.5~9.1 °C温度积累1 h记为1 CU、1.5~2.4 °C或9.2~12.4 °C温度积累1 h记为0.5 CU、 ≤ 1.4 °C或12.5~15.9 °C温度积累1 h记为0 CU、16.0~18.0 °C温度积累1 h记为-0.5 CU、18.1~21.0 °C温度积累1 h记为-1 C·U、21.1~23.0 °C温度积累1 h记为-2 C·U。

1.2.3 需热量的估算 葡萄从生理休眠结束至50%芽展叶所需的有效热量累积称为葡萄的需热量,用6个模型(生长度小时模型、有效积温模型、

最大积温模型、温度最大值模型、平均温度累计模型和热量模型)进行需热量的估算。生长度小时模型^[11]:即每小时气温平均值的热量积累(计作GDH °C)。当小时平均气温满足 $t \leq 4.5$ °C时, GDH °C=0; 4.5 °C < t < 25.0 °C时, GDH °C= $t-4.5$; $t \geq 25.0$ °C时, GDH °C= 20.5 ;有效积温模型^[12]:即日平均气温与生物学零度之差的累计值(计作D °C),有效积温= $\sum(t_{\text{日平均温度}}-t_{\text{生物学零度}})$;最大积温模型^[13]:即日最高气温与生物学零度之差的累计值(计作Dmax °C),最大积温= $\sum(t_{\text{日最高温度}}-t_{\text{生物学零度}})$;温度最大值累计模型^[13]:即日最高气温的累计值(计作ACTmax °C),ACTmax °C= $\sum(t_{\text{日最高温度}})$ °C;平均温度累计模型^[14]:即日平均温度的累计值(计作ACTmed °C),ACTmed °C= $\sum(t_{\text{日平均温度}})$ °C;热量模型^[15]:即日最高气温与最低气温之差的累计值(计作Heat °C),Heat °C= $\sum(t_{\text{日最高温度}}-t_{\text{日最低温度}})$ °C,其中葡萄的生物学零度为10 °C。

1.3 需冷量、需热量估算模型的评价标准

利用变异系数衡量各需冷量、需热量估算模型估算出的年际间需冷量与需热量的值,变异系数最小的估算模型则为该环境条件下最适宜的估算模型。其值为标准差与平均数的比值,记为CV,可以消除因数据间单位不同而造成的比较差异。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 软件进行数据整理和处理,采用 SPSS 20.0 软件对不同需冷量、需热量模型测得需冷量、需热量值进行 Spearman 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 设施环境内需冷量积累

表 1 是连续 3 a(2016—2017、2017—2018、2018—2019)通过 3 种不同需冷量模型对同期玻璃温室冷量积累的估算值。12 月 31 日前,3 种需冷量估算模型都有类似的冷量积累值;同一年份内利用不同估算模型估算的需冷量值不同;不同年份间利用同种模型估算的冷量积累值也不尽相同。其中,在每年 12 月 31 日时,利用 ≤ 7.2 °C 模型估算设施内的需冷量分别为 873 h、596 h 和 511 h,3 a 间跨度为 362 h;利用 $0\sim 7.2$ °C 模型估算的需冷量分别为 734、534 和 475 h,3 a 间跨度为 259 h;利用犹他模型估算的需冷量分别为 625、500 和 437 CU,3 a 间跨度为 188 CU。利用犹他模型估算 11 月 30 日至 12 月 31 日的设施内需冷量年际间变异系数分别为 1.262、0.238、0.137 和 0.184,均为同一时期不同模型需冷量值变异系数的最小值。

表 1 不同需冷量模型估算的不同年份的需冷量

Table 1 Chilling requirement estimated by different models in three years

需冷量模型及相关参数 Chill model and relevant parameter	年份 Year	11月30日 30-Nov.	12月10日 10-Dec.	12月20日 20-Dec.	12月31日 31-Dec.
≤ 7.2 °C 模型 ≤ 7.2 °C Model/h	2016—2017	192	430	636	873
	2017—2018	24	212	384	596
	2018—2019	0	131	302	511
平均值 Mean		72.0	257.7	440.7	660.0
标准差 S.D.		104.61	154.64	174.06	189.30
变异系数 CV		1.453	0.600	0.395	0.287
$0\sim 7.2$ °C 模型 $0\sim 7.2$ °C Model/h	2016—2017	130	312	509	734
	2017—2018	24	203	361	534
	2018—2019	0	127	295	475
平均值 Mean		51.3	214.0	388.3	581.0
标准差 S.D.		69.18	92.99	109.59	135.75
变异系数 CV		1.348	0.435	0.282	0.234
犹他模型 Utah model /(CU)	2016—2017	83	186	361	625
	2017—2018	20	200	347	500
	2018—2019	0	124	277	437
平均值 Mean		34.3	170.0	328.3	520.7
标准差 S.D.		43.32	40.45	45.00	95.69
变异系数 CV		1.262	0.238	0.137	0.184

2.2 设施内不同葡萄品种的需冷量

3 a 内每年以通过连续两次观察培养葡萄枝条样品萌芽率均达到 50% 为标准,其中以第一次日期为标准,后一次起复核作用。由表 2 可以看出,3 a 间宁夏地区常用设施葡萄各品种间需冷量值差异较大,说明此地区常用品种需冷量值分布较广。

试验所用试材均为欧亚种葡萄品种,根据表 2 可以看出,欧亚品种间需冷量差异较大,3 a 内,在 8 个葡萄品种中,‘白宝石’的需冷量最低,介于 166~185 h(≤ 7.2 °C 模型)、162~179 h(0~7.2 °C 模型)、155~165 CU(犹他模型);‘汤姆逊’需冷量最高,介于 562~622 h(≤ 7.2 °C 模型)、535~582 h(0~7.2 °C 模型)、518~544 CU(犹他模型)。8 个品种需冷量的大小顺序为:‘汤姆逊’>‘6-12’>‘红地球’>‘维多利亚’>‘红十月’>‘贵妃玫瑰’>‘奥古斯特’>‘白宝石’。

采用 3 种需冷量估算模型对该地区常用设施葡萄品种的需冷量进行估算,不同模型估算需冷量的结果相差较大。需冷量以 ≤ 7.2 °C 模型进行估算时,其值较其他两种估算模型大,分布范围也在 3 种估算模型中最大,其中‘红地球’葡萄品种 3 a 内的变异系数最低,为 2.53%,‘奥古斯特’品种的变异系数最高,为 13.03%;利用犹他模型估算各葡萄品种需冷量值最小,分布范围也最小,其中红地球品种 3 a 中的变异系数最低,为 0.74%,而‘白宝石’的变异系数最高,为 11.92%;利用 0~7.2 °C 模型估算的需冷量值则居中,跨度也居中,与前两种模型相似,‘红地球’品种的变异系数最低,‘白宝石’最高。从表 3 中还可以看出,采用 ≤ 7.2 °C 模型估算需冷量值的变异系数最大,为 6.56%;采用犹他模型估算各品种年际需冷量时,其变异系数的平均值最小,为 5.66%,因此采用犹他模型估算不同品种葡萄

表 2 不同模型估算的 8 个葡萄品种需冷量

Table 2 Chilling requirement of 8 grape cultivars estimated by different models

品种 Cultivar	年份 Year	≤ 7.2 °C 模型 ≤ 7.2 °C model/h			0~7.2 °C 模型 0~7.2 °C model/h			犹他模型 Utah model/(CU)		
		需冷量值 Value	需冷量 平均值 Mean	变异 系数 CV/%	需冷量 值 Value	需冷量 平均值 Mean	变异 系数 CV/%	需冷量 值 Value	需冷量 平均值 Mean	变异 系数 CV/%
红地球 Red Globe	2016—2017	487	501.3	2.53	452	463.7	2.48	432	435.7	0.74
	2017—2018	506			464			438		
	2018—2019	511			475			437		
红十月 Red October	2016—2017	295	317.0	6.94	269	303.7	10.53	254	290.7	11.68
	2017—2018	317			310			297		
	2018—2019	339			332			321		
维多利亚 Victoria	2016—2017	423	435.7	7.98	398	419.7	5.51	366	393.3	6.44
	2017—2018	409			417			398		
	2018—2019	475			444			416		
汤姆逊 Thompson	2016—2017	562	591.0	5.08	535	556.7	4.26	518	528.7	2.58
	2017—2018	589			553			524		
	2018—2019	622			582			544		
贵妃玫瑰 Royal Rose	2016—2017	265	285.0	6.55	258	277.3	6.69	239	261.3	7.60
	2017—2018	288			279			268		
	2018—2019	302			295			277		
白宝石 White Stone	2016—2017	168	173.0	6.03	162	170.7	4.98	155	159.7	3.15
	2017—2018	166			171			159		
	2018—2019	185			179			165		
6-12	2016—2017	501	523.0	4.31	480	491.3	2.71	456	459.7	1.20
	2017—2018	522			488			457		
	2018—2019	546			506			466		
奥古斯特 August	2016—2017	182	206.0	13.03	176	199.7	13.18	165	184.0	11.92
	2017—2018	201			195			179		
	2018—2019	235			228			208		
平均值 Mean	-	-	6.56	-	-	6.29	-	-	5.66	

需冷量更加精确。

根据观察设施葡萄生育期可以得出,设施内 8 个葡萄品种需冷量与其成熟期之间不存在必然联系。如‘红十月’和‘贵妃玫瑰’利用 3 种模型估算的需冷量值相差不大,但成熟期却完全不同,相差 30 d 左右;‘红地球’和‘维多利亚’的需冷量也基本相同,成熟期也相差较大,相差 50~60 d;而‘白宝

石’和‘6-12’的浆果成熟期基本相同,两者需冷量却存在很大差异。

2.3 设施环境内需热量积累

表 3 是采用 6 种需热量模型估算的 2016—2019 年期间休眠结束至 3 月 10 日所积累的需热量值,通过田间温度监测及计算可以看出,3 月 10 日前每种需热量模型估算所得的需热量值有较大

表3 不同需热量模型估算的不同年份的需热量

Table 3 Heat requirement estimated by different models in three years

需热量模型及相关参数 Chill model and relevant parameter	年份 Year	12月10日 Dec. 10	1月10日 Jan. 10	2月10日 Feb. 10	3月10日 Mar. 10
生长度小时模型 Growing degree hours model(GDH ^{°C})	2016—2017	557	2 284	4 990	8 732
	2017—2018	261	1 585	3 791	8 141
	2018—2019	384	1 829	4 186	8 733
平均值 Mean		400.7	1 899.3	4 322.3	8 535.3
标准差 S.D.		148.70	354.77	611.02	341.50
变异系数 CV		0.371	0.187	0.141	0.040
有效积温模型 Effective accumulated temperature model (D ^{°C})	2016—2017	0	0	1	84
	2017—2018	0	0	1	48
	2018—2019	0	0	2	56
平均值 Mean		-	-	1.3	62.7
标准差 S.D.		-	-	0.58	18.90
变异系数 CV		-	-	0.433	0.302
最大积温模型 Maximum accumulated temperature model (D _{max} ^{°C})	2016—2017	37	249	457	773
	2017—2018	7	102	272	593
	2018—2019	16	117	297	628
平均值 Mean		20.0	156.0	342.0	664.7
标准差 S.D.		15.39	80.89	100.37	95.44
变异系数 CV		0.770	0.519	0.293	0.144
温度最大值累计模型 Maximum temperature accumulation model (ACT _{max} ^{°C})	2016—2017	97	619	1 137	1 733
	2017—2018	76	471	947	1 548
	2018—2019	105	508	994	1 604
平均值 Mean		92.7	532.7	1 026.0	1 628.3
标准差 S.D.		14.98	77.02	98.96	94.87
变异系数 CV		0.162	0.145	0.096	0.058
平均温度累计模型 Average temperature accumulation model (ACT _{med} ^{°C})	2016—2017	49	260	488	845
	2017—2018	31	186	390	696
	2018—2019	48	210	426	741
平均值 Mean		42.7	218.7	434.7	760.7
标准差 S.D.		10.12	37.75	49.57	76.42
变异系数 CV		0.237	0.173	0.114	0.100
热量模型 Heat model(Heat ^{°C})	2016—2017	73	414	823	1 353
	2017—2018	69	434	857	1 327
	2018—2019	88	453	876	1 346
平均值 Mean		76.7	433.7	852.0	1342.0
标准差 S.D.		10.02	19.50	26.85	13.45
变异系数 CV		0.131	0.045	0.032	0.010

差异,以生长度小时模型测得需热量值最大,分别为 8 732 GDH^{°C}、8 141 GDH^{°C}和 8 733 GDH^{°C},3 年间跨度为 592 GDH^{°C};以有效积温模型测定需热量值最小,分别为 84 D^{°C}、48 D^{°C}和 56 D^{°C},跨度为 36 D^{°C};同一模型不同年份间测得的需热量值也稍有不同,从变异系数的角度看,生长度小时模型和热量模型的变异系数在 6 种模型中较小,分别为 0.040 和 0.010,说明利用这两种模型测定设施内的热量积累值比较稳定;对于设施葡萄而言,热量模型只是把日最高气温和日最低气温的值相减后累加,往往忽略了日平均气温和葡萄生物学零度温度对其造成的负效应,而生长度小时模型则是将温度划分为不同的区间,以每小时的热量积累作为需热量的其中一个部分,所得结果更加详细精

确,故选择生长度小时模型估算宁夏设施内需热量较好。

2.4 设施内不同葡萄品种的需热量

需热量是葡萄从生理休眠结束至萌芽期 50% 芽展叶所需的有效热量积累。本试验根据田间采样和室内试验的方法,并采用田间实际测得温度数据,利用 6 个植物物候期热量测定模型估算需热量。从表 4 可以看出,设施内 8 个葡萄品种利用同种需热量估算模型估算的需热量差异较小,同一葡萄品种间采用不同需热量估算模型所得需热量值差异较大。以 2019 年为例,采用生长度小时模型估算需热量时,供试品种需热量主要集中在 9 291~11 201 GDH^{°C},跨度为 1 910 GDH^{°C};以有效积温模型为例,各品种需热量介于 91~117 D^{°C},跨度为

表4 不同模型估算的8个葡萄品种需热量

Table 4 Heat requirements of 8 grape cultivars estimated by different models

品种 Cultivar	年份 Year	生长度小时模型 Growing degree hours model (GDH ^{°C})		有效积温 Effective accumulated temperature model(D ^{°C})		最大积温模型 Maximum accumulated temperature model (Dmax ^{°C})		温度最大值累计模型 Maximum temperature accumulation model(ACTmax ^{°C})		平均温度累计模型 Average temperature accumulation model (ACTmed ^{°C})		热量模型 Heat model(Heat ^{°C})	
		需热量值 Value	变异系数 CV/%	需热量值 Value	变异系数 CV/%	需热量值 Value	变异系数 CV/%	需热量值 Value	变异系数 CV/%	需热量值 Value	变异系数 CV/%	需热量值 Value	变异系数 CV/%
		红地球 Red Globe	2016—2017	9 021		85		621		1 362		682	
	2017—2018	9 191	1.49	90	3.63	656	5.12	1 473	6.62	691	4.12	1 186	7.07
	2018—2019	9 291		91		688		1 555		736		1 290	
红十月 Red October	2016—2017	9 356		93		669		1 470		697		1 206	
	2017—2018	9 596	2.32	95	4.32	674	0.48	1 519	2.52	736	2.73	1 246	3.37
	2018—2019	9 801		101		668		1 545		719		1 290	
维多利亚 Victoria	2016—2017	9 714		99		696		1 600		750		1 380	
	2017—2018	9 698	3.41	102	4.97	736	6.50	1 690	5.58	799	6.80	1 414	3.20
	2018—2019	10 290		109		792		1 789		859		1 470	
汤姆逊 Thompson	2016—2017	9 180		90		669		1 470		688		1 174	
	2017—2018	9 496	2.76	93	3.23	665	4.31	1 493	3.28	712	4.29	1 215	4.80
	2018—2019	9 698		96		718		1 565		749		1 290	
贵妃玫瑰 Royal Rose	2016—2017	9 806		104		696		1 600		766		1 475	
	2017—2018	9 596	6.55	107	3.27	745	5.70	1 762	7.23	811	6.58	1 555	2.69
	2018—2019	10 830		111		780		1 847		873		1 529	
白宝石 White Stone	2016—2017	9 914		108		712		1 773		799		1 576	
	2017—2018	9 870	7.32	112	4.01	753	6.42	1 845	5.77	864	8.08	1 640	2.34
	2018—2019	11 201		117		809		1 985		939		1 643	
6—12	2016—2017	9 474		98		696		1 600		750		1 367	
	2017—2018	9 648	3.36	99	4.32	729	2.62	1 649	5.07	794	6.22	1 398	3.06
	2018—2019	10 107		106		728		1 765		849		1 452	
奥古斯特 August	2016—2017	9 446		95		669		1 470		721		1 294	
	2017—2018	9 618	3.40	97	3.68	706	6.08	1 591	7.58	749	4.81	1 310	5.73
	2018—2019	10 085		102		755		1 711		793		1 435	
平均值 Mean		-	3.83	-	3.93	-	4.65	-	5.46	-	5.45	-	4.03

26 D°C;以最大积温模型计算时,需热量主要集中在668~809 D°C,跨度为141 D°C;若以温度最大值累计模型估算时,各品种需热量介于1 545~1 985 ACT°C,跨度为440 ACT°C;以平均温度累计模型估算时,品种间需热量主要为719~939 ACT°C,跨度在220 ACT°C;若以热量模型作为需热量估算模型时,则各品种间需热量为1 290~1 643 Heat°C,相差353 Heat°C。3 a内8个葡萄品种需热量的大小顺序为:‘白宝石’>‘贵妃玫瑰’>‘维多利亚’>‘6-12’>‘奥古斯特’>‘红十月’>‘汤姆逊’>‘红地球’。

根据表4还可以看出,采用温度最大值累计模型和平均温度累计模型估算各品种需热量值的变异系数最大,分别为5.46%、5.45%;而采用生长度小时模型和有效积温模型估算各品种需热量值的变异系数最小,分别为3.83%和3.93%,6种模型的稳定程度依次为生长度小时模型>有效积温模型>热量模型>最大积温模型>平均温度累计模型>温度最大值模型。

通过观察设施葡萄物候期可以得出,葡萄品种的果实成熟期与需热量之间也没有必然的联系。例如‘维多利亚’、‘贵妃玫瑰’和‘6-12’的需热量值

比较接近,但3个品种的成熟期完全不同;又如‘奥古斯特’和‘红十月’等品种的成熟期基本相同,但两者间需热量值却有很大差距。

2.5 需冷量和需热量的相关性分析

利用不同模型估算葡萄品种需冷量与需热量,两者之间在一定相关关系。根据表5可以看出,3种需冷量模型之间、6种需热量模型之间均存在极显著正相关关系;而不同需冷量模型估算所得需冷量值与6种需热量模型估算得到的需热量值之间有一定的负相关关系。其中,利用 ≤ 7.2 °C模型估算的需冷量与有效积温模型、热量模型估算的需热量之间呈极显著负相关,相关系数分别为0.517和0.562;利用0~7.2 °C模型估算的需冷量与有效积温模型估算的需热量之间呈显著负相关,与热量模型估算的需热量呈极显著负相关,相关系数为0.534;利用犹他模型估算的需冷量与有效积温模型估算的需热量之间呈显著负相关,相关系数为0.495;与热量模型估算的需热量呈极显著负相关,相关系数为0.544。综上可以得出,宁夏地区葡萄休眠期需冷量与萌芽期需热量因品种不同而不同,需冷量高的品种需热量反而低。

表5 不同模型估算的需冷量与需热量相关性分析

Table 5 Correlation analysis of chilling and heat requirement estimated by different models

模型 Model	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.995**	0.994**	-0.370	-0.517**	-0.329	-0.361	-0.383	-0.562**
2		1	0.999**	-0.362	-0.486*	-0.297	-0.334	-0.349	-0.534**
3			1	-0.371	-0.495*	-0.311	-0.346	-0.362	-0.544**
4				1	0.907**	0.790**	0.868**	0.846**	0.821**
5					1	0.852**	0.944**	0.943**	0.958**
6						1	0.921**	0.937**	0.854**
7							1	0.980**	0.940**
8								1	0.950**
9									1

注:1. ≤ 7.2 °C模型;2. 0~7.2 °C模型;3. 犹他模型;4. 生长度小时模型;5. 有效积温模型;6. 最大积温模型;7. 温度最大值模型;8. 平均温度累计模型;9. 热量模型。* . 在 $p < 0.05$ 水平(双侧)上显著相关;** . 在 $p < 0.01$ 水平(双侧)上显著相关。

Note: 1. ≤ 7.2 °C model; 2. 0~7.2 °C model; 3. Utah model; 4. Growing degree hours model; 5. Effective accumulated temperature model; 6. Maximum accumulated temperature model; 7. Maximum temperature accumulation model; 8. Average temperature accumulation model; 9. Heat model. * .Significant correlation at the $p < 0.05$ level (both sides); ** .Significantly correlated at $p < 0.01$ level (both sides).

3 讨 论

不同树种萌芽和开花的早晚都由其自身需冷量和需热量共同决定,了解并掌握这一规律是设施果树栽培成功的前提条件。满足落叶果树芽休眠的需冷量值因树种和品种的不同有所差异,具有遗

传性且与自身的生态适应性有一定关系。需冷量估算模型可以通过物候学模型作为参照,将一段时间内温度与低温积累之间的关系反映出来,而植物对不同地区或环境的适应能力有所不同,导致模型对于品种的需冷量估算不准确或温度超出范围无法估算。而对于某一特定环境气候条件下需冷量

估算模型的确定或适应,是研究低温积累量的前提条件^[16]。在不同的需冷量估算模型中,计算最为简单的是 0~7.2 °C 模型,将温度在 0~7.2 °C 范围内的时间累加,但这种估算模型往往忽略了葡萄树种对于 0 °C 以下温度的适应能力;≤7.2 °C 模型虽然考虑到这一问题,却忽略了 7.2 °C 以上温度对植物休眠的解除作用,这一问题在不同地区很容易造成误差。气候相对温和的地区,≤7.2 °C 模型、0~7.2 °C 模型和犹他模型估算所得的需冷量值比较接近,而在早晚温差较大、四季分明且冬季较寒冷的北方地区,前两种需冷量估算模型并不可取。本试验地点位于宁夏银川市,冬季昼夜温度浮动较大,设施内白天温度为 4~13 °C,夜晚低于 4 °C,通过比较发现,‘红地球’品种 3 年内需冷量变化稳定,变异系数最低,而‘白宝石’变异系数最大,这可能是由于‘白宝石’葡萄品种需冷量较低缘故;还得出犹他模型对于低温的划分较细,且其年际间变异系数最小(5.66%),考虑到由于室内温度高于植物休眠所需低温积累而带来的抵消作用^[17],综合不同温度对低温积累的正负效应,选择犹他模型更适用于本地区设施葡萄需冷量估算。另外,目前需冷量估算模型还只是通过物候学模型进行植物休眠期与萌芽期判别,并没有利用生理学模型作为基础,所以会影响需冷量值的准确程度^[18]。因此,需冷量估算模型仍需不断改进,以便为能够更准确地研究植物休眠所需低温积累量提供有力支撑。

通过对 8 个设施葡萄品种需热量的估算,发现利用生长度小时模型、有效积温模型和热量模型更符合葡萄萌芽过程中对于热量的需求作用,但考虑到生长度小时模型的年际间变异系数最小(3.83%),所以生长度小时模型估算所得需热量值较稳定。作为与犹他模型计算形式类似的模型,生长度小时模型能够将葡萄萌芽期不同温度范围内积累的热量进行累加,估算所得需热量值较其他 5 种模型更加精细准确,因此选用生长度小时模型作为本地区需热量估算模型较好。

最近几年,国外有关葡萄需冷量、需热量有一些报道。Mohamed 等^[19]连续 2 年对埃及常见葡萄品种进行试验,发现需冷量介于 89~247 h(≤7.2 °C 模型)之间,需热量介于 2 675~4 063 GDH °C 之间(生长度小时模型);Eshghi 等^[20]对伊朗主栽 3 个葡萄品种试验得出,需冷量相同的品种需热量存在一

定差异,即需冷量与需热量因不同地区不同品种而异。随着落叶果树需冷量与需热量逐渐受到关注,二者之间关系研究也得到重视。沈元月等^[21]采用 0~7.2 °C 模型和生长度小时模型分别估算桃树的需冷量和需热量,发现二者无直接关系;Nuria 等^[22]利用犹他模型、动态模型和≤7.2 °C 模型估算樱桃需冷量,生长度小时模型估算需热量,结果与前者类似;戴国礼等^[23]采用≤7.2 °C 模型、0~7.2 °C 模型和犹他模型测定 19 个枸杞品种的休眠期需冷量,生长度小时模型和有效积温模型测定萌芽期需热量,结果表明需热量与需冷量之间仍无相关性。而胡瑞兰等^[24]以 0~7.2 °C 模型估算桃树品种需冷量、有效积温模型估算需热量,发现需冷量与需热量之间呈极显著正相关关系。奚晓军等^[25]以上海地区设施葡萄作为供试材料,利用≤7.2 °C 模型、0~7.2 °C 模型、犹他模型 3 种需冷量估算模型以及生长度小时模型、有效积温模型估算葡萄品种需冷量和需热量,研究表明二者呈正相关关系,这也与张晓云等^[26]的研究结果相一致。陈茂铨等^[27]以犹他模型估算 12 个桃树品种的需冷量,以生长度天模型估算需热量研究其相关性,结果表明需冷量与需热量之间存在幂函数曲线显著负相关关系;孙利鑫^[28]在利用犹他模型和生长度小时模型估算需冷量与需热量时发现,需冷量与需热量呈现幂函数相关关系,且达显著水平。

本研究分别利用生长度小时模型、有效积温模型、最大积温模型、温度最大值模型、平均温度累计模型和热量模型估算葡萄品种需热量,≤7.2 °C 模型、0~7.2 °C 模型和犹他模型估算需冷量,相关分析结果表明需热量与需冷量之间存在负相关关系,这也与王海波等^[29]、Ruiz 等^[6]和王西成等^[30]的试验结果相类似,不同的是王西成等^[30]利用生长度小时模型估算所得需热量数据分别与 3 个模型估算的需冷量之间呈负相关关系,而有效积温模型估算所得需热量数值与 3 种需冷量估算模型所得结果之间则呈正相关关系。这些不同的研究结果,原因有很多,如树种与品种之间的差异,栽培地区气候环境条件的差别,或是与其所选用的估算模型不同有关,但最主要的原因是目前对于需热量、需冷量的估算仅停留在根据经验制定的物候学模型阶段,仅能根据有限的数据统计有效温度的范围,缺乏一些可以作为基础的植物生理学理论,同时在一定程度

上也影响温度数据的精准性。因此,考虑到特定地区气候环境条件对于需冷量、需热量的选择性,综合本试验结果,宁夏地区玻璃温室内葡萄栽培的需热量与需冷量存在负相关关系,选用犹他模型、生长度小时模型估算葡萄品种需冷量和需热量最为适宜。

4 结 论

宁夏地区设施栽培葡萄需冷量值因品种不同而不同,同一品种选用不同需冷量、需热量模型估算的值也不尽相同。同种模型估算各品种葡萄需冷量值差异较大,不同模型估算所得需冷量之间均存在极显著正相关关系;各品种利用同种模型计算的需热量值差异较小,不同需热量模型计算的需热量值之间呈极显著正相关。本地区选用犹他模型估算需冷量,生长度小时模型估算需热量比较精准;需冷量与需热量之间存在负相关关系。

参考文献 References:

- [1] 雷晓英. 中国北方设施葡萄产业发展现状及对策研究[J]. 农业与技术, 2017, 37(12):160.
LEI Xiaoying. The development status and countermeasures of facility grape industry in north China[J]. Agriculture and Technology, 2017, 37(12): 160.
- [2] 王世平, 李勃. 中国设施葡萄发展概况[J]. 落叶果树, 2019, 51(1):1-5.
WANG Shiping, LI Bo. Overview of facility grape development in China[J]. Deciduous Fruits, 2019, 51(1): 1-5.
- [3] RUIZ D, EGEA J, SALAZAR J A, CAMPOY J A. Chilling and heat requirements of Japanese plum cultivars for flowering[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 242: 164-169.
- [4] EREZ A. Bud dormancy; phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics[M]//Temperate fruit crops in warm climates. Springer Netherlands, 2000: 17-48.
- [5] MAULION E, VALENTINI G H, KOVALEVSKI L, PRUNELLO M, MONTI L L, DAORDEN M E, QUAGLINO M, CERVIGNI G D L. Comparison of methods for estimation of chilling and heat requirements of nectarine and peach genotypes for flowering[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 177: 112-117.
- [6] RUIZ D, CAMPOY J A, EGEA J. Chilling and heat requirement of apricot cultivars for flowering[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 61(3): 254-263.
- [7] GUO L, XU J C, DAI J H, CHENG J M, LUEDELING E. Statistical identification of chilling and heat requirements for apricot flower buds in Beijing, China[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 195: 138-144.
- [8] 谭钺, 李玲, 李冬梅, 陈修德, 冷传远, 高东升. 设施桃萌芽调控中冷量与热量的关系[J]. 应用与环境生物学报, 2012, 18(5): 728-733.
TAN Yue, LI Ling, LI Dongmei, CHEN Xiude, LENG Chuanyuan, GAO Dongsheng. Relationship between chilling and heat in budburst regulation of peaches for protected cultivation[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2012, 18(5): 728-733.
- [9] 王海波, 王宝亮, 王孝娣, 魏长存, 刘万春, 刘凤之. 设施葡萄22个常用品种需冷量的研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2009(11):20-22.
WANG Haibo, WANG Baoliang, WANG Xiaodi, WEI Changcun, LIU Wanchun, LIU Fengzhi. Study on the chilling requirement of 22 important grape cultivars for protected cultivation[J]. Sino-overseas Grapevine & Wine, 2009(11): 20-22.
- [10] DARBYSHIRE R, WEBB L, GOODWIN I, BARLOW E W R. Impact of future warming on winter chilling in Australia[J]. International Journal of Biometeorology, 2013, 57(3): 355-366.
- [11] ALBURQUERQUE N, GARCIA-MONTIEL F, CARRILLO A, BURGOS L. Chilling and heat requirements of sweet cherry cultivars and the relationship between altitude and the probability of satisfying the chill requirements[J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 64(2): 162-170.
- [12] 郑大玮, 孙忠富. 关于积温一词及其度量单位科学性问题的讨论[J]. 中国农业气象, 2010, 31(2):165-169.
ZHENG Dawei, SUN Zhongfu. Discussion on scientificity problem of accumulated temperature and its unit[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(2): 165-169.
- [13] JATO V, RAJO F R, MENDEZ J, AIRA M. Phenological behaviour of Quercus in Ourense (NW Spain) and its relationship with the atmospheric pollen season[J]. International Journal of Biometeorology, 2002, 46(4): 176-184.
- [14] 贺庆棠, 陆佩玲. 气象学[M]. 3版. 北京: 中国林业出版社, 2010.
HE Qingtang, LU Peiling. Meteorology[M]. 3 ed. Beijing: China Forestry Press, 2010.
- [15] RAJO F J R, FRENGUELLI G, JATO V. The influence of air temperature on the starting date of Quercus pollination in the South of Europe[J]. Grana, 2003(42): 145-152.
- [16] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超, 左覃元. 桃品种需冷量评价模式的探讨[J]. 园艺学报, 2003, 30(4):379-383.
WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao, ZUO Qinyuan. Estimating models of the chilling requirement for peach[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(4): 379-383.
- [17] 王海波, 刘凤之, 韩晓, 谢计蒙, 王孝娣, 王宝亮. 葡萄需冷量和需热量估算模型及设施促早栽培品种筛选[J]. 农业工程学报, 2017, 33(17):187-193.
WANG Haibo, LIU Fengzhi, HAN Xiao, XIE Jimeng, WANG Xiaodi, WANG Baoliang. Grape chilling requirement estimated models and heat requirement estimated models and selection of

- early cultivars in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(17): 187-193.
- [18] 庄维兵,章镇,侍婷,王培培,邵静,罗晓燕,高志红. 落叶果树需冷量及其估算模型研究进展[J]. 果树学报, 2012, 29(3):447-453.
- ZHUANG Weibing, ZHANG Zhen, SHI Ting, WANG Peipei, SHAO Jing, LUO Xiaoyan, GAO Zhihong. Advance on chilling requirement and its chilling models in deciduous fruit crops[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(3): 447-453.
- [19] MOHAMED A K A, SESE A M E. Chilling and heat requirements of some grape cultivars (*Vitis vinifera* L.)[J]. International Journal of Applied Agricultural Research, 2009, 4(3): 193-202.
- [20] ESHGHI S, GARAZHIAN M. Determination of chilling and heat requirements of grape cuttings and changes in carbohydrates and hormones during chilling period[J]. Iranian Journal of Horticultural Science, 2015, 46(3): 354-365.
- [21] 沈元月,郭家选,祝军,贾克功. 早熟桃品种需冷量和需热量的研究初报[J]. 中国果树, 1999(2):21-22.
- SHEN Yuanyue, GUO Jiakuan, ZHU Jun, JIA Kegong. Preliminary report on the chilling and heat requirement for early maturing peach[J]. China Fruits, 1999(2): 21-22.
- [22] NURIA A, FEDERICO G M, ANTONIO C, LORENZO B. Chilling and heat requirements of sweet cherry cultivars and the relationship between altitude and the probability of satisfying the chill requirements[J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 64(2): 162-170.
- [23] 戴国礼,张波,秦垦,焦恩宁,何昕孺. 不同枸杞品种(系)需冷量及需热量的初步研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(8):1962-1966.
- DAI Guoli, ZHANG Bo, QIN Ken, JIAO Enning, HE Xinru. Preliminary study on chilling and heat requirement of major wolfberry cultivars[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(8): 1962-1966.
- [24] 胡瑞兰,贾永祥. 影响温室桃成熟期的因子研究[J]. 山西果树, 2002, 89(3):4-5.
- HU Ruilan, JIA Yongxiang. Study on the influencing factor of the ripe date of the greenhouse peach[J]. Shanxi Fruits, 2002, 89(3): 4-5.
- [25] 奚晓军,查倩,和雅妮,蒋爱丽,田益华. 上海地区‘申沪’系列葡萄新品种的需冷量和需热量研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2018(4):58-60.
- XI Xiaojun, ZHA Qian, HE Ya'ni, JIANG Aili, TIAN Yihua. Chilling and heat requirements of ‘Shen/Hu’ series grapevine cultivars in Shanghai region[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2018(4): 58-60.
- [26] 张晓云,杨伟伟,费青青,王生海,容新民. 北疆地区设施主栽桃品种需冷量和需热量研究[J]. 黑龙江农业科学, 2019(7):24-29.
- ZHANG Xiaoyun, YANG Weiwei, FEI Qingqing, WANG Shenghai, RONG Xinmin. Study on the chilling and heat requirement for peach cultivars used in protected facility in northern Xinjiang area[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2019(7): 24-29.
- [27] 陈茂铨,叶伟其,刘卓香,钟汉春,柳旭波,潘芝梅. 12个桃品种的花芽休眠需冷量和开花需热量[J]. 林业科学, 2012, 48(1): 86-90.
- CHEN Maoquan, YE Weiqi, LIU Zhuoxiang, ZHONG Hanchun, LIU Xubo, PAN Zhimei. The requirements of chilling for bud dormancy and caloric for blooming for 12 peach varieties [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(1): 86-90.
- [28] 孙利鑫. 宁夏设施葡萄需冷量与需热量研究[D]. 银川:宁夏大学, 2016.
- SUN Lixin. The research of facility grapes chilling requirement and calorific requirement in Ningxia[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2016.
- [29] 王海波,王孝娣,王宝亮,魏长存,刘万春,何锦兴,刘凤之. 设施葡萄常用品种的需冷量、需热量及2者关系研究[J]. 果树学报, 2011, 28(1):37-41.
- WANG Haibo, WANG Xiaodi, WANG Baoliang, WEI Changcun, LIU Wanchun, HE Jinxing, LIU Fengzhi. Chilling and heat requirements and relationship between them for major grape cultivars under protected culture[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(1): 37-41.
- [30] 王西成,钱亚明,赵密珍,吴伟民,王庆莲. 设施葡萄萌芽调控中需冷量和需热量及其相互关系[J]. 植物生理学报, 2014, 50(3):309-314.
- WANG Xicheng, QIAN Yaming, ZHAO Mizhen, WU Weimin, WANG Qinglian. Chilling and heat requirements and their relationship in budburst regulation of *Vitis vinifera* L. for protected cultivation[J]. Plant Physiology Journal, 2014, 50(3): 309-314.