

doi:10.3969/j.issn.1000-6362.2020.11.001

王珂依,刘布春,刘园,等.四川西昌酿酒葡萄延迟萌芽的气候可行性分析[J].中国农业气象,2020,41(11):679-694

四川西昌酿酒葡萄延迟萌芽的气候可行性分析*

王珂依¹, 刘布春¹, 刘园^{1**}, 房玉林², 邱美娟¹, 毛留喜³, 何延波³, 杨晓娟¹, 庞静漪^{1,4}, 肖楠舒^{1,5}

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/作物高效用水与抗灾减损国家工程实验室/农业部农业环境重点实验室, 北京 100081; 2. 西北农林科技大学葡萄酒学院, 杨凌 712100; 3. 国家气象中心, 北京 100081; 4. 辽宁省营口市气象局, 营口 115001; 5. 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110161)

摘要: 基于四川西昌气象站 1951–2018 年逐日气候资料, 以及西昌月华乡 2016–2018 年葡萄实验观测数据, 计算酿酒葡萄年和生长季热量、水分、光照及农业气象灾害变化趋势, 分析酿酒葡萄气候资源利用情况; 根据酿酒葡萄实际所需活动积温, 分别以日平均气温稳定通过 10℃ 的终日和初霜日作为收获期, 反演酿酒葡萄萌芽年值, 探讨酿酒葡萄延迟萌芽的可行性, 以便充分利用当地光热资源、规避生育关键期农业气象灾害影响。结果表明: 近 68a, 研究区酿酒葡萄年和生育期内热量资源显著增加 ($P < 0.05$); 降水资源丰富, 实际生育期内前期雨少, 后期雨多, 降水集中在葡萄营养生长期; 光资源能够满足酿酒葡萄实际所需, 但呈极显著减少趋势 ($P < 0.01$)。近 68a, 低温灾害发生频次平均为 $7 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$, 果实成熟期降水过量, 导致连阴雨灾害连年发生。分别以每年日平均气温稳定通过 10℃ 的终日和初霜日为收获期、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 平均活动积温 $3274.3^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 为热量标准制定酿酒葡萄延迟萌芽的两种方案, 反推可能的萌芽期, 发现延迟萌芽后生育期内降水资源可满足酿酒葡萄的基本需求, 且降水规律与酿酒葡萄生长需水规律一致, 表现为前期雨多, 后期雨少。延迟萌芽生育期内光资源能够满足当地酿酒葡萄实际需求, 且生育期内光资源下降速率比实际生育期减缓, 同时, 延迟萌芽后葡萄生育期内农业气象灾害发生风险低于实际生育期, 可有效规避酿酒葡萄实际生育期易遭受的主要农业气象灾害。如果按此两种方案实施延迟萌芽, 酿酒葡萄生育期内农业气候资源丰富、农业气象灾害较少。

关键词: 四川; 西昌; 酿酒葡萄; 农业气候资源; 农业气象灾害; 延迟萌芽

Feasibility Analysis on Delayed Germination of Wine Grape Based on Climate Risk Assessment at Xichang, Sichuan Province

WANG Ke-yi¹, LIU Bu-chun¹, LIU Yuan¹, FANG Yu-lin², QIU Mei-juan¹, MAO Liu-xi³, HE Yan-bo³,
YANG Xiao-juan¹, PANG Jing-yi^{1,4}, XIAO Nan-shu^{1,5}

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS/National Engineering Laboratory of Efficient Crop Water Use and Disaster Reduction/Key Laboratory of Agricultural Environment, MOA, Beijing 100081, China; 2. College of Enology, Northwest A&F University, Yangling 712100; 3. National Meteorological Center, Beijing 100081; 4. Yingkou Meteorological Bureau, Yingkou 115001; 5. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161)

Abstract: Wine grape is the most sensitive to climate change. Agricultural climate resources are the key environmental factors to the growth and development and fruit quality of wine grape. Under the background of climate warming, it is significance to guide the reasonable distribution of wine grape by analyzing the agricultural climate resources at Xichang of Sichuan Province. This study identified the change in agricultural climate resources

* 收稿日期: 2020-05-13

** 通讯作者刘园, E-mail: liuyuan@caas.cn

基金项目: 国家重点研发计划“重大自然灾害监测预警与防范”重点专项(2017YFC1502803)

第一作者王珂依, E-mail: wky.1221@qq.com

and major agricultural meteorological disasters, based on the daily meteorological data from 1951 to 2018. The data on the actual growth period of wine grape from 2016 to 2018 was collected from the experimental sites of wine grape located at Xichang, an important wine grape growing region. We calculated the trend of heat, precipitation, sunshine hours and agricultural climate disasters in annual and actual growth period of wine grape, and the utilization of climate resources. Delayed germination of wine grapes refers to a cultivation technique to delays the germination period of grapes by avoiding the rain during the ripening and harvesting, so as to harvest fresh wine grapes in the middle of winter. Then we discussed the climatic feasibility of delaying the germination of wine grape at Xichang. The simulated phenology was calculated by two ways respectively, refer to the average integrated temperature with $\geq 10^{\circ}\text{C}$ is $3274.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ as the required heat standard: ① the daily average temperature stable passing through 10°C is the harvest period and ② the first frost day of each year was taken as the harvest period. The date of germination start was calculated by inverse calculation, and the growth period of delayed germination was obtained. In this paper, the results showed: the sufficient heat conditions, abundant precipitation resources and long sunshine hours can meet the climatic conditions for the growth and development of wine grape. The thermal resources for wine grapes had increased significantly ($P<0.05$). Precipitation was abundant and concentrated in the actual growth period. Although sunshine conditions could meet the actual requirements of wine grape but the decreasing trend had been significant ($P<0.01$). At Xichang, the occurrence frequency of low temperature was seven times one year. Excessive precipitation during the maturity period led to continuous rain disaster. Thus, delayed germination can be adopted. The simulated growth periods by delayed germination resulted in sufficient and consistent availability of precipitation resources meeting the growing water demand pattern of wine grape. Actual growth requirements of local wine grapes were met, and the decreasing trend of sunshine resources were slower than that in the actual growth period. The occurrence risk of agricultural meteorological disasters during the new growth period were lower than that in the actual growth period and can possibly be used as an effective method to minimize the impacts of agricultural meteorological disasters. In this study, we find that the delayed cultivation is one effective way to avoid some meteorological disasters at Xichang, according to these two simulated schemes. During the simulated growth period of wine grape, climate resources are feasibility, agricultural climate resources are rich and the agricultural meteorological disasters are less.

Key words: Xichang; Sichuan; Wine grape; Agricultural climate resources; Agricultural meteorological disasters; Delayed germination

农业气候资源是农业生产的物质和能量来源,是主导农业生产的关键环境因素之一。气候变暖背景下,农业气候资源的新特征、新变化引起了农业、气象等相关领域专家的更多关注^[1]。酿酒葡萄是中国重要的经济作物之一,对气候变化较为敏感^[2-3],其生长发育以及葡萄酒品质更依赖于农业气候资源。在充分了解农业气候资源变化基础上,合理高效使用对保障酿酒葡萄提质增效、促进葡萄酒产业健康发展具有重大意义。

农业气候资源主要包括热量资源、降水资源和光照资源。国内外专家学者对中国农业气候资源的变化特征^[4-8]、区域分布^[9-16]、利用效率^[17-21]等作了大量研究,认为气候变化总体表现为暖干化趋势^[6],

$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温呈显著增加趋势,积温带明显北移^[15];其中,西南地区积温增加,日照时数减少,降水量西增东减^[16]。农业气候资源的变化对酿酒葡萄的生长发育及产量和品质形成均具有重要影响^[22-23]。李华等^[24]认为无霜期可以较好地地区分酿酒葡萄栽培的适宜区和非适宜区。Goudriaan等^[25]在前人研究基础上增加了物候期(4-10月)月均温指标,将世界范围葡萄栽培区划分为冷凉、温和、温热、热及高热5个级别栽培区。李华等^[26]认为年降水量在600-800mm适合酿酒葡萄生长发育,但西南产区不均匀的降水分布(干湿季分明)容易造成植株旺长,落花落果,果实含糖量降低。闫凤君等^[27]指出酿酒葡萄萌芽-开花对水分需求最多,成熟期对

水分需求有所减少。修德仁等^[28]指出, 干红葡萄酒品种果实成熟期的月降水量不超过 100mm 或旬降水量不超过 30mm 最适宜; 光照影响酿酒葡萄整个生育过程, 进而影响果实外观特征和内在品质^[21]。法国著名波尔多产区专家认为, 满足优质酿酒葡萄生产的日照时数 $>1250\text{h}$ ^[22]。这些研究对栽培及获取高品质的酿酒葡萄具有重要的参考价值。

为高效合理利用农业气候资源, 20 世纪 80 年代, 相关领域专家充分利用农业气候资源并配套葡萄延迟萌芽技术, 创建了果实资源高效利用的有效模式。郑铭西等^[29]利用福建省丰富光温资源, 进行葡萄二次开花结果, 使成熟期推至 9 月; 房玉林等^[30]利用攀西地区丰富的光热资源, 开展露地葡萄延迟萌芽栽培实验研究并获得成功, 在生产上推广应用; 房玉林等^[31]分析了西南干热河谷地区生产优质葡萄和葡萄酒的环境因素, 实现了通过产期调节达到葡萄旱季成熟; 吕智敏等^[32]通过日光温室栽培, 分别选择 6 月 15 日、30 日, 7 月 5 日、15 日进行葡萄延迟萌芽, 使葡萄成熟期推至翌年元旦, 错峰成熟上市。以上延迟栽培技术的成功推广应用, 一定程度上高效利用了农业气候资源, 取得了较好的经济效益。

中国西南地区农业气候资源总体满足酿酒葡萄对气候条件的基本需求, 该地区酿酒葡萄栽培已初具规模, 成为中国九大酿酒葡萄产区之一^[33-35]。但受东南、西南季风的影响, 降水较多且时空分布不均匀, 葡萄生长发育过程中遭受农业气象灾害风险较大, 农业气候资源尚未得到合理高效配置^[36]。因此, 充分了解该地区农业气候资源的格局分布及新形势下新特征, 合理、高效利用有限的农业气候资源, 选育适合当地的酿酒葡萄品种, 采取科学合理栽培措施, 可提高气候资源利用效率, 促进酿酒葡萄产业提质增效。本研究在充分分析四川西昌农业气候资源特征基础上, 从农业气候资源合理、高效配置及规避农业气象灾害角度, 探讨延迟葡萄萌芽在该地区的气候可行性, 对酿酒葡萄的生长发育进行人为控制, 使葡萄果实在旱季成熟, 避开雨季, 以期确保稳产优质的酿酒葡萄生长, 为促进该地区酿酒葡萄产业持续稳定发展提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 基本资料

四川西昌气象站 (101°46′–102°25′E, 27°32′–28°10′N, 海拔 1500–2500m) 1951–2018 年逐日气象

观测资料, 来自中国气象局, 包含逐日平均气温、最高气温、最低气温、日照时数、降水量和 2m 高处平均风速等。四川西昌月华乡 (101° 85′E、28° 10′N, 海拔 1600m) 2016–2018 年酿酒葡萄实验观测数据, 包含不同酿酒葡萄品种关键生育期日期。

1.2 酿酒葡萄生长基本气候条件

温度: 酿酒葡萄的不同生育期对温度要求不同。春季日均气温 10℃左右酿酒葡萄开始萌芽, 秋季环境温度降至 10℃左右酿酒葡萄即停止生长发育; 新梢生长、开花、结果最适宜温度为 28~30℃, 浆果期不低于 20℃, 成熟期不低于 17℃^[37]。气温日较差是影响葡萄糖分、单宁累积及着色十分重要的指标之一, 温差 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有利于糖分累积和果实着色^[38]。不同的酿酒葡萄品种从萌芽至果实充分成熟所需 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温是不同的, 极早熟品种要求 2100~2300℃·d, 即欧亚种葡萄品种对生长季活动积温最低需求 2100℃·d^[26]。无霜期的长短直接决定一个地区作物生长季节的早晚和热量资源的利用, 其与植物的生长发育有着极其紧密的联系, 无霜期 $<160\text{d}$ 的地区不适合栽培葡萄^[24]。

水分: 一般认为年降水量在 600~800mm 最适合酿酒葡萄生长发育。葡萄是耐旱果树, 降水偏多容易造成植株旺长, 落花落果, 果实含糖量降低^[26]。酿酒葡萄萌芽–开花期对水分需求最多, 开花期需水量减少, 坐果–成熟前要求均衡供水, 成熟期对水分的需求又减少^[37]。高质量的酿酒葡萄要求生育期内水分条件呈现湿润–半湿润–干旱的变化规律^[31]。酿制干红葡萄酒品种果实成熟期适宜月降水量不超过 100mm 或旬降水量不超过 30mm, 葡萄成熟期过度降水不仅会降低葡萄浆果的含糖量、风味和香气, 并最终降低葡萄酒的品质, 且降水过多葡萄易感病^[28]。

光照: 葡萄较为喜光, 光照影响酿酒葡萄整个发育过程, 包括花芽分化、根系生长、营养物质的吸收和运输等, 进而影响果实的外观特征和内在品质^[21]。法国波尔多产区专家认为, 满足优质酿酒葡萄生产的生育期日照时数 $>1250\text{h}$ ^[22]。

1.3 气候指标计算

1.3.1 热量指标

日较差: 气温日较差指在连续 24h 内最高温度与最低温度的差值。

积温: 0℃为植物生长发育的初始温度, 10℃为喜温植物适宜生长初始温度^[39], 采用 $\geq 0^\circ\text{C}$ 和 $\geq 10^\circ\text{C}$

的活动积温作为热量资源指标之一^[40]。

$$AAT_0 = \sum_{i=1}^n T_i \quad T_i \geq 0^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$AAT_{10} = \sum_{i=1}^n T_i \quad T_i \geq 10^\circ\text{C} \quad (2)$$

式中, i 为日序, T_i 为第 i 日平均温度。

稳定通过 0°C 和 10°C 的日期: 春季最后一次出现 $<0^\circ\text{C}$ 或 $<10^\circ\text{C}$ 对应日期的后一日即为稳定通过 0°C 或 10°C 初始日期; 冬季最早一次出现 $<0^\circ\text{C}$ 或 $<10^\circ\text{C}$ 对应日期的前一日即为稳定通过 0°C 或 10°C 终止日期。

无霜期: 将日最低气温第一次 $\leq 2^\circ\text{C}$ 的日期定义为初霜日, 日最低气温最后一次 $\leq 2^\circ\text{C}$ 的日期定义为终霜日, 无霜期长度为初霜日日序与终霜日日序之差^[41]。

1.3.2 光照指标

酿酒葡萄喜光, 光照充足时, 光合作用强, 果实产量和品质好; 光照不足时, 光合效率低, 果实着色差, 品质下降^[27]。采用法国波尔多地区专家提出的标准, 即满足优质酿酒葡萄生产的生长期日照时数 $>1250\text{h}$ ^[22]。

1.3.3 农业气象灾害指标

开花期高温/低温灾害: 日最高气温 $>35^\circ\text{C}$ 或日最低气温 $<14^\circ\text{C}$ 都会对酿酒葡萄的开花授粉、坐果等产生不利影响。前者会产生日烧, 造成酿酒葡萄落花落果, 后者则引起葡萄受精不良, 子房脱落^[37]。根据 2016–2018 年酿酒葡萄实验观测数据, 定义西昌地区 4 月下旬–5 月中旬为酿酒葡萄开花期, 将日最高气温 $>35^\circ\text{C}$ 和日最低气温 $<14^\circ\text{C}$ 分别作为高温灾害和低温灾害的指标, 分析近 68a 西昌地区酿酒葡萄开花期遭受高温、低温灾害的特征。

全生育期连阴雨灾害: 是限制酿酒葡萄生长发育的农业气象灾害之一, 出现 7d 或以上连阴雨时容易使酿酒葡萄出现霜霉病、灰霉病等喜湿病害。根据西南地区连续降水日数和过程降水量^[42], 定义西昌地区一次连阴雨过程为, 连续降水日数 $\geq 7\text{d}$, 连续降水日内平均降水量 $\geq 4.0\text{mm}$, 平均日照 $\leq 3.0\text{h}$ 。

成熟期降水过量灾害: 修德仁等^[28]研究表明, 酿酒葡萄果实成熟期降水不宜 $\geq 100\text{mm}$ 或旬降水不超过 30mm , 否则容易引起裂果或果实病害, 也不利于糖分积累。因此, 将 8 月成熟期降水量多少也作为酿酒葡萄的农业气象灾害指标之一。

1.4 数据处理

气候倾向率: 采用气候倾向率表示某一要素在

某时段内随时间的变化, 即

$$x_t = a_0 + a_1 t, \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, x_t 为要素拟合值, t 为时间, a_0 为回归常数, a_1 为回归系数, $a_1 \times 10$ 为气候倾向率, 表示要素每 10a 的变化。

生育期模拟方法: 根据 2016–2018 年西昌月华乡酿酒葡萄田间实验数据, 计算得出实际生育期内所需 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的活动积温平均为 $3274.3^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 。以 1951–2018 年逐年 $\geq 10^\circ\text{C}$ 终日、初霜日为收获期, $3274.3^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 为热量指标。采用 excel 统计软件, 利用反推法, 计算酿酒葡萄逐年延迟萌芽的起始日期, 得到逐年延迟萌芽生育期。

2 结果与分析

2.1 酿酒葡萄延迟萌芽的必要性分析

2.1.1 西昌地区热量资源分析

2.1.1.1 温度

1951–2018 年, 西昌地区葡萄生育期内 (3 月 17 日–8 月 29 日) 平均、最高和最低气温分别为 21.0 、 27.3 和 16.3°C , 呈显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 增加趋势 (图 1a); 全年平均、最高和最低气温分别为 17.1 、 23.5 和 12.4°C , 略低于生育期均值, 但亦均呈极显著增加趋势 ($P < 0.01$) (图 1b)。对葡萄糖分、单宁累积及着色来说, 气温日较差十分重要, 温差 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有利于糖分累积和果实着色^[38]。图 2c 显示, 1951–2018 年西昌地区葡萄生育期内平均日较差为 11.0 , 波动范围 $9.6 \sim 12.7^\circ\text{C}$, 仅极个别年份低于 10°C , 尤其是 2005、2006、2011 年生育期平均日较差均高于 12°C ; 年平均日较差为 11.1°C , 波动范围 $10.2 \sim 12.4^\circ\text{C}$, 亦在 10°C 以上, 有利于葡萄果实糖分和单宁的累积。

2.1.1.2 活动积温

由图 2 可见, 1951–2018 年, 西昌地区日平均气温稳定通过 0°C 初始日期平均为 1 月 3 日, 终止日期平均为 12 月 30 日, 0°C 以下持续天数平均仅为 2d, 最长为 1977 年的 40d (图 2a)。日平均气温稳定通过 10°C 初始日期平均为 3 月 17 日, 终止日期平均为 11 月 13 日, 且每 10a 极显著推后 2.7d ($P < 0.01$, 图 2a)。日平均气温稳定通过 10°C 的持续天数平均为 243d (波动范围 $189 \sim 295\text{d}$), 且每 10a 显著增加 2.5d ($P < 0.05$, 图 2b)。图 2c 显示, $\geq 0^\circ\text{C}$ 年活动积温平均为 $6253.7^\circ\text{C} \cdot \text{d}$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 年活动积温平均为 $5896.2^\circ\text{C} \cdot \text{d}$, 均呈极显著 ($P < 0.01$) 或显著 ($P < 0.05$) 增加趋势 (图 2c)。说明在西昌的常规生产季节积温量可以满足几

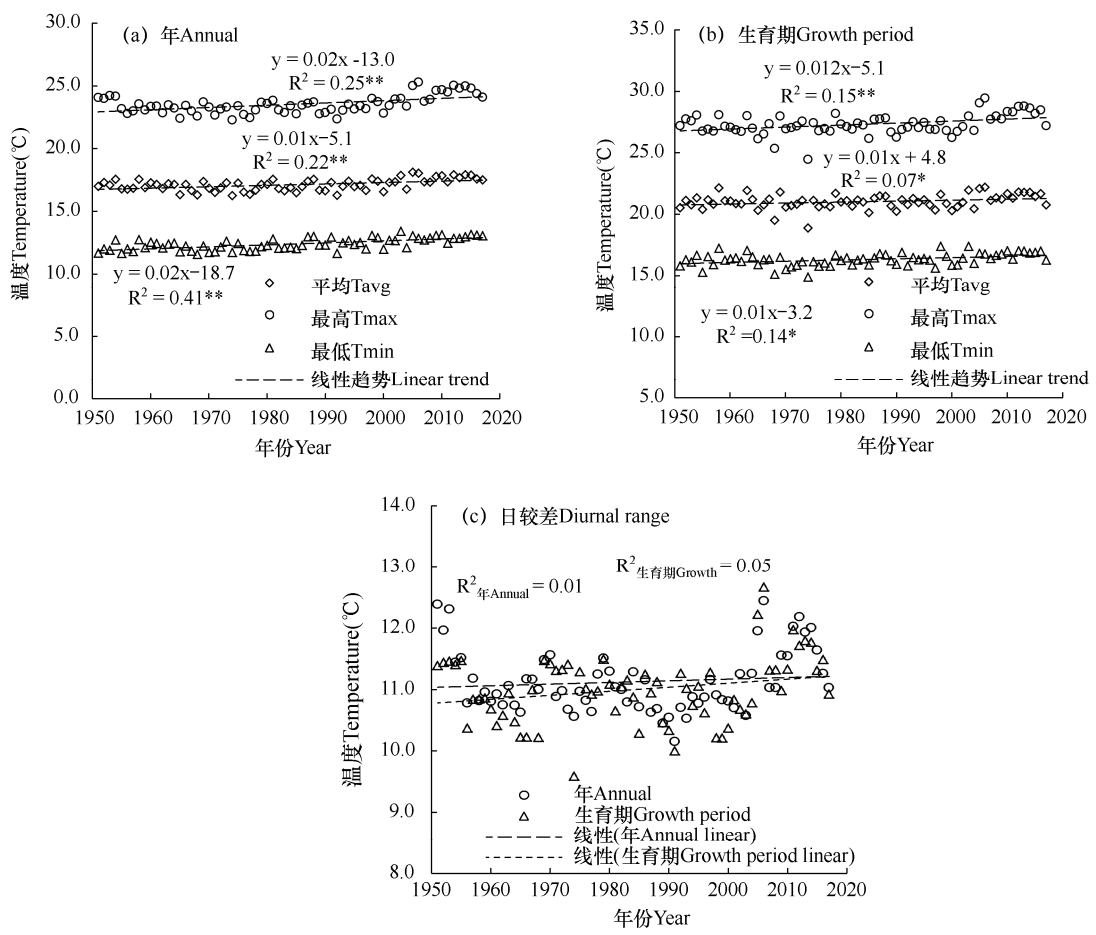


图 1 西昌以年和葡萄生育期内（3 月 17 日–8 月 29 日）为时间尺度计算的平均/最高/最低温度以及日较差的年际变化（1951–2018 年）
Fig. 1 Variation of the average/max./min. temperature and daily temperature range respectively in every year and growth period(17 Mar.17 – 29 Aug.) at Xichang station from 1951 to 2018

注：*、**分别表示相关系数通过 0.05、0.01 水平的显著性检验。下同。
Note:* is $P < 0.05$, ** is $P < 0.01$. The same as below.

乎所有类型的葡萄生长需求。

2.1.1.3 无霜期

由图 3 可见，1951–2018 年，西昌地区初霜日平均为 12 月 16 日（日序 351），日序范围在第 311–365 天，即 11 月 6 日–12 月 31 日，20% 的年份无初霜日，也即全年秋季至年末日无最低气温 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 日。终霜日平均为 2 月 14 日（日序 45），日序范围在第 1–86 天，即 1 月 1 日–3 月 26 日，终霜日每 10a 提前 2.6d ($P < 0.05$, 图 3a)；由图 3b 可见，研究区全年无霜期平均值为 307d，日序范围在第 264–357 天，每 10a 增加 4.0d ($P < 0.05$)，远大于酿酒葡萄所需的 160d，可以满足不同品种酿酒葡萄对无霜期的需求。

2.1.2 西昌地区降水资源分析

由图 4 可见，近 68a 来，西昌地区年平均降水量

为 1018.5mm，年际间差异极大，在 558.2~1549.2mm 区间波动，其中 92.5% 的年份年降水量超过酿酒葡萄所需水分的上限（800mm）。葡萄生育期（3–8 月）降水量波动范围较大，在 414.4~1262.4mm，年平均为 730.7mm，但生育期内降水分布不均，与葡萄生长需求不匹配。具体表现为，3–5 月（发芽和新梢生长期）月平均降水量分别为 12.3、29.4 和 87.3mm，降水偏少，不利于酿酒葡萄新梢生长和开花坐果；6–7 月（开花和果实生长期）降水偏多，月均降水量分别为 212.6mm 和 222.2mm，8 月（成熟期）降水偏多，月均降水量 181.8mm，容易造成酿酒葡萄果粒吸水膨胀，导致葡萄裂果、烂果，引发葡萄病害（图 4b）。说明研究区全年葡萄生育期降水变化规律与生产优良酿酒葡萄原料的水分需求恰好相反，不利于优质酿酒葡萄的生长。

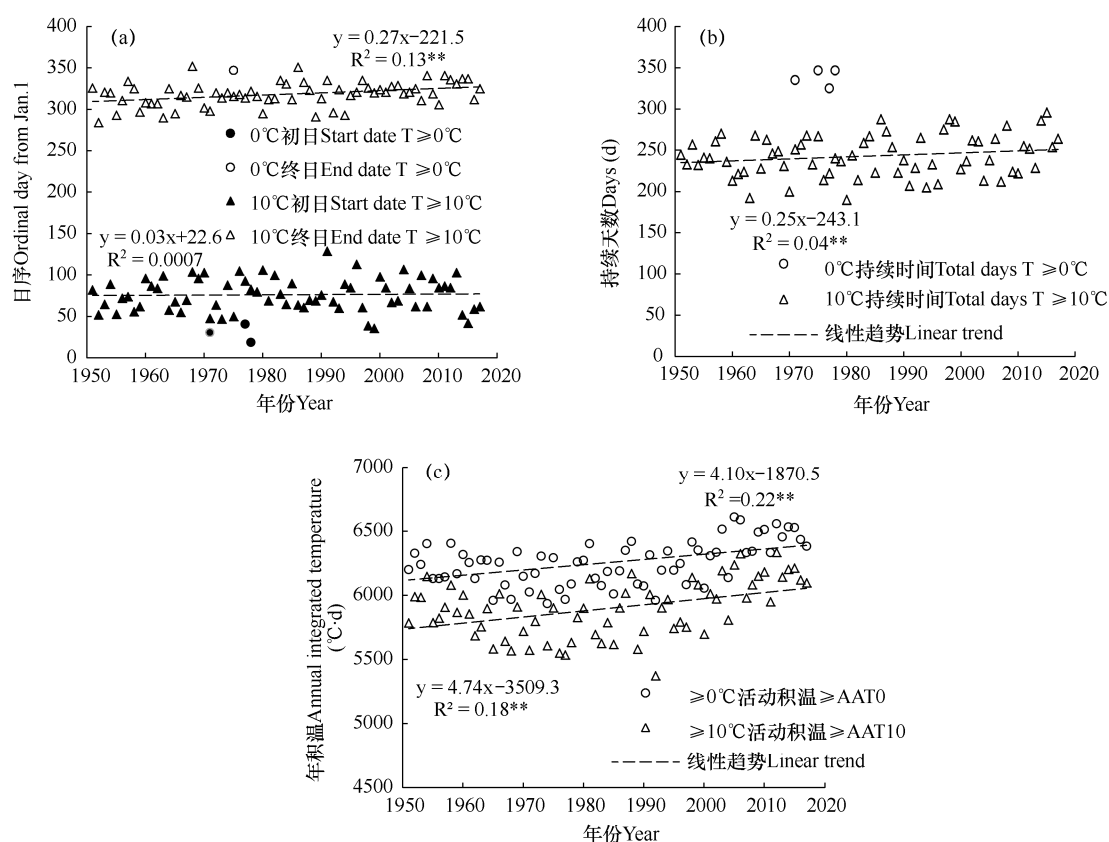


图 2 西昌日平均气温稳定通过 0°C 和 10°C 的日序 (a)、持续时间 (b) 及活动积温 (c) 的年际变化 (1951–2018 年)

Fig. 2 Variation of ordinal day (a, DOY) and duration days (b, DUR) and annual integrated temperature (c, AAT) of daily-averaged temperature $\geq 0^\circ\text{C}$ and 10°C at Xichang from 1951 to 2018

注：图 a、b 中稳定通过 0°C 初、终日的日序和持续天数省略了 1、365 (366)。

Note: In figure(a) and figure(b), the first/last days (a) and duration days (b) that stable passing through 0°C are omitted 1 and 365(366).

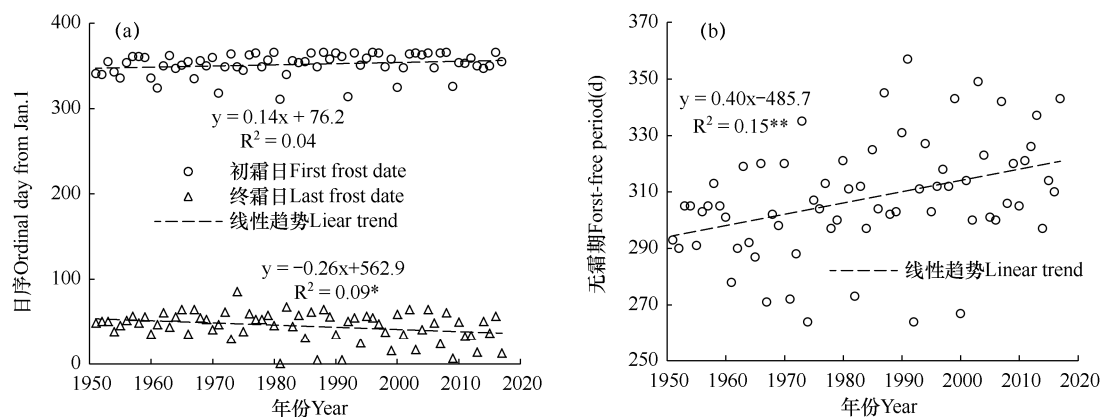


图 3 西昌初/终霜日 (a) 及无霜期 (b) 的年际变化 (1951–2018 年)

Fig. 3 Variation of the first/last frost date and frost-free period at Xichang from 1951 to 2018

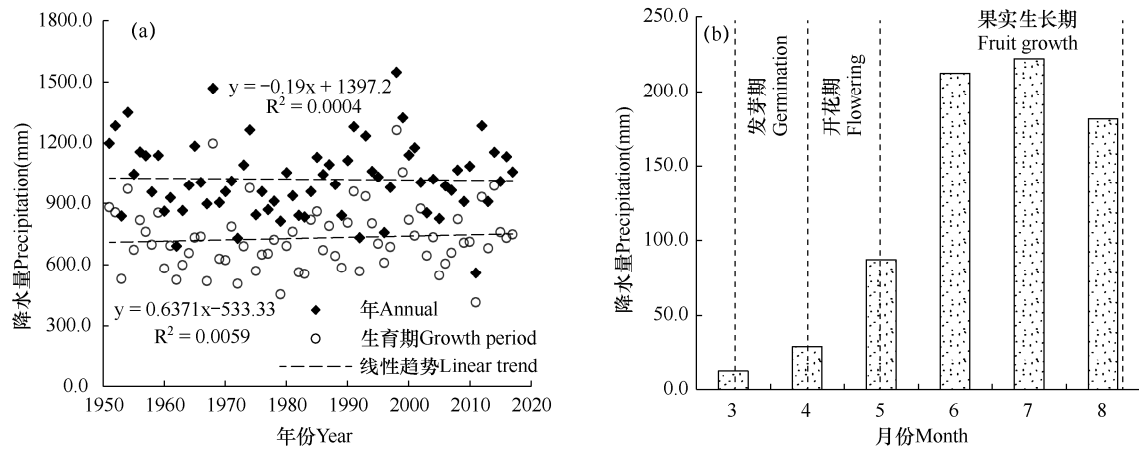


图 4 1951–2018 年西昌年和葡萄生育期内降水量变化
Fig. 4 Variation of annual/ growth period precipitation at Xichang from 1951 to 2018

2.1.3 西昌地区光照资源分析

由图 5 可见，1951–2018 年，西昌地区葡萄生育期日照时数平均为 1061.2h，在 822.3~1250.0h 范围

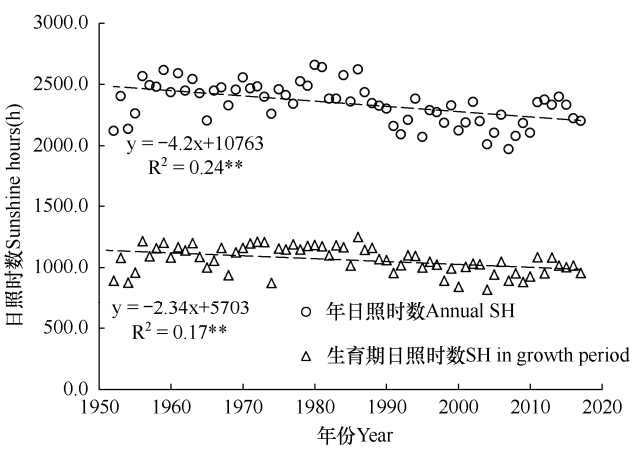


图 5 西昌年和葡萄生育期日照时数变化 (1951–2018 年)
Fig. 5 Variation of annual/ growth period sunshine hours at Xichang from 1951 to 2018

波动，且每 10a 极显著减少 23.4h ($P<0.01$)。年平均日照时数为 2344.0h，在 1971.6~2660.5h 范围波动，每 10a 极显著减少 42.0h ($P<0.01$)。生育期日照时数的减少并不利于酿酒葡萄糖分的积累及果实的着色，在西昌的常规生产季节日照时数不能满足优质酿酒葡萄生长。

2.1.4 葡萄栽培农业气候资源利用情况分析

西昌地区具有丰富的热量和降水资源，但酿酒葡萄栽培过程中尚未完全高效利用。1951–2018 年西昌不同阶段农业气候资源平均状况如图 6 所示。由图可见，实际成熟期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 平均终日 (11 月 13 日)–平均初霜日 (12 月 16 日) 时段内，持续天数平均分别为 77d 和 23d，期间 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温平均值分别为 $1376.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 和 $268.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，累积降水量平均值分别为 267.9mm 和 9.5mm，日照时数平均值分别为 393.8h 和 145.9h。可见，按照实际生育期栽培，西昌地区酿酒葡萄收获后仍有丰富的农业气候资源可供利用。



图 6 西昌 1951–2018 年各时段农业气候资源分布与 2016–2018 年酿酒葡萄实际生育期内农业气候资源分布的匹配情况
Fig. 6 The match of the distribution of agricultural climate resources in different periods from 1951 to 2018 and the distribution of agricultural climate resources during the actual wine grape growth period at Xichang from 2016 to 2018

Note: AAT is integrated temperature ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$), PRCP is precipitation(mm), SH is sunshine hours(h).

2.1.5 葡萄栽培主要农业气象灾害分析

2.1.5.1 开花期内高/低温灾害

由图 7a 可知, 1951–2018 年西昌地区酿酒葡萄开花期日最低气温 $<14^{\circ}\text{C}$ 的日数在 1~13d, 平均为 7d; 无显著变化趋势。近 68a, 每年开花期都有低温灾害发生, 低温灾害不容忽视。但酿酒葡萄开花期日最高温度 $>35^{\circ}\text{C}$ 的高温灾害日数仅 1~5d, 分别发生在 1951、1954、1958、1987、1994、1999、2006、2010、2011、2012 和 2016 年, 研究期内高温灾害发生日数远少于低温灾害。

2.1.5.2 成熟期降水过量

由图 7b 可见, 1951–2018 年西昌地区 8 月平均降水量为 171.4mm, 在 40.6~412.1mm 范围波动, 无显著变化趋势; 8 月降水日数平均为 16d, 在 7~

23d 范围波动。8 月降水量超过 100mm 的年份占总年份 83.6%, 降水日数 $\geq 10\text{d}$ 的年份占总年份 88.1%, 表明该地区在葡萄成熟期降水过度。过度的降水会降低葡萄浆果的含糖量、风味和香气, 并最终降低葡萄酒的质量, 引起葡萄病害的流行。

2.1.5.3 全生育期连阴雨

由图 7c 可见, 1951–2018 年西昌地区连阴雨天气出现的年份占总年份的 65.7%; 年总次数在 1~4 次, 其中发生 1~2 次、3~4 次连阴雨的年份分别占 88.6%、11.4%; 年总连阴雨天数在 7~32d, 总天数发生最多的年份为 1974 年和 2004 年 (32d)。连阴雨发生在 6 月最多 (41.0%), 其次分别是 7 月的 28.2% 和 8 月的 19.2% (图 7d), 这也是酿酒葡萄品质形成的关键期。

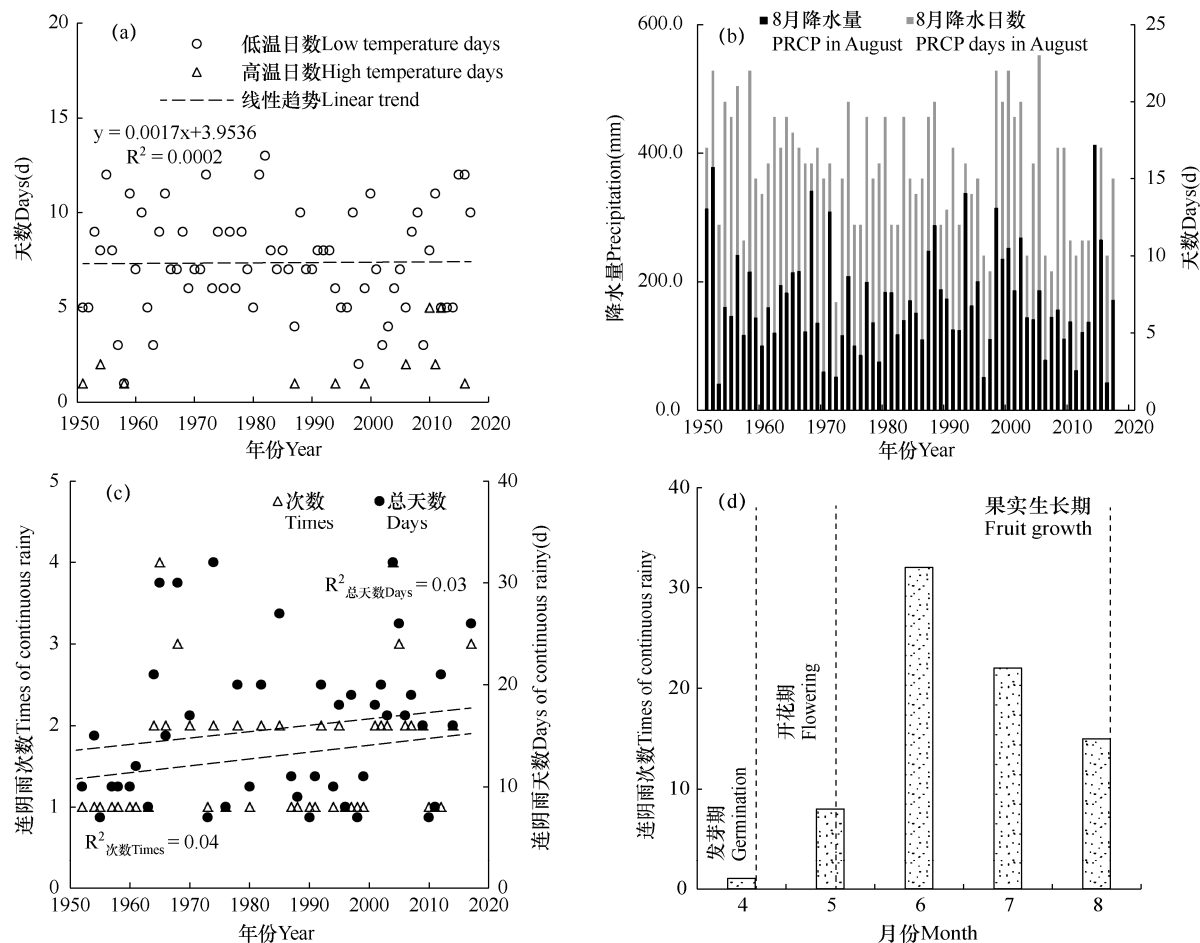


图 7 西昌酿酒葡萄生育期气象灾害指标统计 (1951–2018 年)

Fig. 7 Statistic results of meteorological disaster indices in growth period at Xichang from 1951 to 2018

注: (a) 为开花期高/低温日数, (b) 为成熟期 (8 月) 降水量及降水日数, (c) 为全生育期连阴雨次数和天数的年分布, (d) 为研究期连阴雨次数的月分布。

Note: (a) is low/high temperature days during flowering period, (b) is precipitation and rainy days during maturity period (Aug.), and (c) is times and days of continuous rainy during whole growth period from 1951 to 2018, and (d) is the distribution of monthly times of continuous rainy.

2.2 酿酒葡萄延迟萌芽方案分析

2.2.1 酿酒葡萄生育期及其气象条件观测

根据 3a 田间实际观测资料（表 1），西昌酿酒葡萄萌芽-成熟期全生育期时间为 3 月 17 日-8 月 29 日，基本覆盖西昌不同酿酒葡萄品种的实际生长阶段。西昌月华乡酿酒葡萄一般 3 月下旬-4 月下旬为萌芽-新梢生长期，所需活动积温平均为 635.9℃·d，降水量平均为 57.29mm，日照时数平均为 245.7h。4 月下旬-5 月中旬为开花期，所需活动积温平均为

367.5℃·d，降水量平均为 25.6mm，日照时数平均为 140.4h。5 月中旬-8 月下旬为果实生长-成熟期，所需平均活动积温为 2271.0℃·d，平均降水量为 679.5mm，平均日照时数为 520.6h。总体上，西昌月华乡葡萄萌芽-成熟期平均活动积温为 3274.3℃·d，平均降水量为 762.2mm，平均日照时数为 906.6h，平均生育期在 158d 左右。各关键生育期葡萄发育具体气象指标见表 1。

表 1 西昌月华试验站酿酒葡萄生育期及期间农业气候资源观测结果（2016–2018 年）

Table 1 Observation results of wine grape growth period and agricultural climate resources in each period at Yuehua experimental station, Xichang, in 2016–2018

项目 Item	年份 Year			平均 Average
	2016	2017	2018	
萌芽-新梢开始生长（月-日）Germination-twig starting growth（mm-dd）	03-26	03-26	03-17	03-23
萌芽-新梢结束生长（月-日）Germination-twig ending growth（mm-dd）	05-02	04-27	04-19	04-26
始花期（月-日）Beginning flowering（mm-dd）	05-03	04-28	04-20	04-27
终花期（月-日）Ending flowering（mm-dd）	05-16	05-15	05-10	05-14
果实生长-开始成熟（月-日）Fruit development - starting maturation（mm-dd）	05-17	05-16	05-11	05-15
果实生长-结束成熟（月-日）Fruit development- end maturation（mm-dd）	08-24	08-29	08-28	08-27
萌芽-新梢生长期活动积温 Integrated temperature in germination-twig growth（℃·d）	702.1	582.5	623.0	635.9
开花期活动积温 Integrated temperature in flowering stage（℃·d）	308.7	353.5	440.3	367.5
果实生长-成熟期活动积温 Integrated temperature in fruit development-maturation（℃·d）	1964.9	2353.2	2494.7	2271.0
葡萄实际生育期活动积温 Integrated temperature in growth stage（℃·d）	2975.7	3289.2	3558.0	3274.3
萌芽-新梢生长期降水量 Precipitation in germination-twig growth（mm）	47.8	100.6	23.3	57.29
开花期降水量 Precipitation in flowering stage（mm）	12.7	36.5	27.4	25.6
果实生长-成熟期降水量 Precipitation in fruit development-maturation（mm）	657.5	608.3	772.5	679.5
葡萄实际生育期降水量 Precipitation in growth stage（mm）	718.0	745.4	823.2	762.2
萌芽-新梢生长期日照时数 Sunshine hours in germination-twig growth（h）	253.1	193.0	290.9	245.7
开花期日照时数 Sunshine hours in flowering stage（h）	111.9	149.5	159.7	140.4
果实生长-成熟期日照时数 Sunshine hours in fruit development-maturation（h）	444.7	536.9	580.1	520.6
葡萄实际生育期日照时数 Sunshine hours in growth stage（h）	809.7	879.4	1030.7	906.6

2.2.2 酿酒葡萄延迟萌芽方案

≥10℃活动积温是反映某地区热量状况指标之一，无霜期长短直接影响酿酒葡萄的种植品种、收获时间等^[22]。以 2016–2018 年西昌酿酒葡萄实际生育期内所需≥10℃平均活动积温为热量标准，以 1951–2018 年每年日平均气温稳定通过 10℃终日、初霜日为收获期，利用反推法计算出酿酒葡萄每年的延迟萌芽起始日期，具体方案为

方案一：以 1951–2018 年每年日平均气温稳定通过 10℃终日为收获期，≥10℃平均活动积温 3274.3℃·d 为酿酒葡萄生育期所需热量标准，采用

excel，利用反推法计算酿酒葡萄历年延迟萌芽起始日期，从而得到历年延迟萌芽生育期。

方案二：以 1951–2018 年每年初霜日为收获期，≥10℃平均活动积温 3274.3℃·d 为酿酒葡萄生育期所需热量标准，采用 excel，利用反推法计算酿酒葡萄历年延迟萌芽的起始日期，从而得到历年延迟萌芽生育期。

2.2.3 采用延迟萌芽方案后生育期变化

根据方案一和方案二的推算结果，酿酒葡萄延迟萌芽的生育期分布如图 8 所示。由图 8a 可见，方案一：当以每年日平均气温稳定通过 10℃终日为收

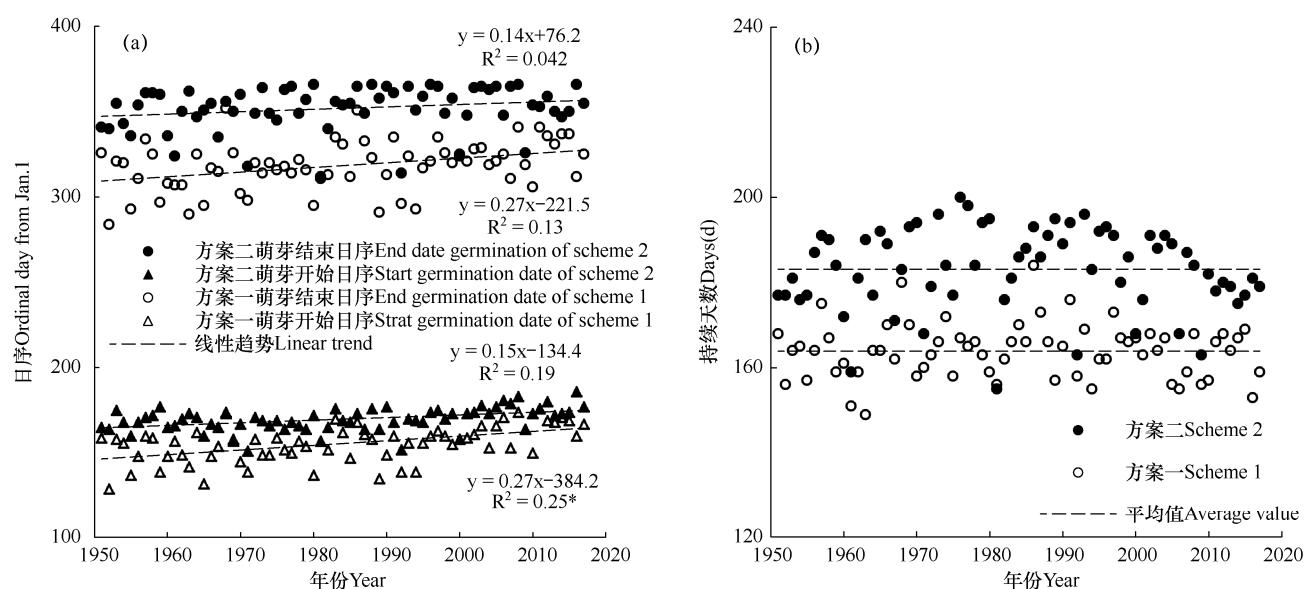


图 8 两种延迟萌芽方案推算的酿酒葡萄生长季起/止日期 (a) 和持续时间 (b) (1951–2018 年)

Fig. 8 The start / end date (a) and duration days (b) of wine grape growth period based on two delayed germination schemes from 1951 to 2018

注: 延迟萌芽方案分别采用两种方法计算, 以 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的平均活动积温 $3274.3^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ 为所需热量标准: ①日平均温度稳定通过 10°C 为收获期, ② 每年的第一个霜冻日为收获期。通过反推计算萌芽起始日期, 从而得到历年延迟萌芽生育期。

Note: The simulated phenology was calculated by two ways respectively, refer to the average integrated temperature with $\geq 10^\circ\text{C}$ is $3274.3^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ as the required heat standard: ① the daily average temperature stable passing through 10°C is the harvest period and ② the first frost day of each year was taken as the harvest period. The date of germination start was calculated by inverse calculation, and the growth period of delayed germination was obtained.

获期时, 延迟萌芽生育期最早始于 1952 年的 5 月 8 日, 平均在 6 月 3 日, 近 68a 间, 以 $2.7\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 速率极显著延迟 ($P < 0.05$)。由图 8b 可见, 酿酒葡萄多年生育期平均为 163.9d, 在 149~184d 区间波动, 且 68a 间变化趋势不明显; 方案二: 当以每年初霜日为收获期时, 延迟萌芽生育期最早始于 1971 年的 5 月 30 日, 平均在 6 月 17 日, 近 68a 间变化趋势不明显。延迟萌芽后酿酒葡萄多年生育期平均为 183.1d, 在 155~200d 之间波动, 生育期天数比方案一明显延长, 且 68a 间无明显变化趋势。实际生育期持续日数为 165d, 可见, 延迟萌芽方案一生育期持续日数与实际生育期日数较为相近, 延迟萌芽方案二生育期持续日数长于实际生育期持续日数。

2.3 采用延迟萌芽方案后生育期内气象条件变化

2.3.1 降水资源变化

由图 9 可知, 对于方案一, 以日平均气温稳定通过 10°C 终日为收获期, 则酿酒葡萄延迟萌芽多年生育期内平均降水量为 833.6mm, 在 288.4~1325.0mm 区间波动, 其中, 61% 的年份 (41a) 高于

当地实际酿酒葡萄所需 762.2mm 降水量; 近 68a, 模拟生育期内降水量以 $24.5\text{mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 的速率显著下降 ($P < 0.05$)。对于方案二, 以每年初霜日为收获期时, 模拟生育期内平均降水量为 764mm, 在 291.7~1299.3mm 区间波动, 其中, 50% 的年份 (34a) 高于当地实际酿酒葡萄所需 762.2mm 的降水量。两种方案模拟酿酒葡萄生育期主要集中在 6–11 月, 其降水量变化规律如图 9b 所示, 6–7 月为萌芽–新梢生长期, 月均降水偏多, 分别为 212.5mm 和 222.1mm, 有利于葡萄萌芽–新梢生长; 8–10 月为开花坐果和果实生长期, 月均降水量普遍偏少, 分别为 181.8mm、160.8mm 和 77.0mm, 利于葡萄开花坐果和果实生长; 11 月 (成熟期) 月均降水量为 19.3mm, 成熟期适度干旱更有利于提高酿酒葡萄的感官质量^[2]。可见, 两种方案调整萌芽期后, 降水规律与葡萄需水规律基本一致, 在确保足够活动积温基础上, 利用延迟萌芽的方式可获得类似于地中海式的生态条件, 为葡萄生长发育提供一个适宜的环境。

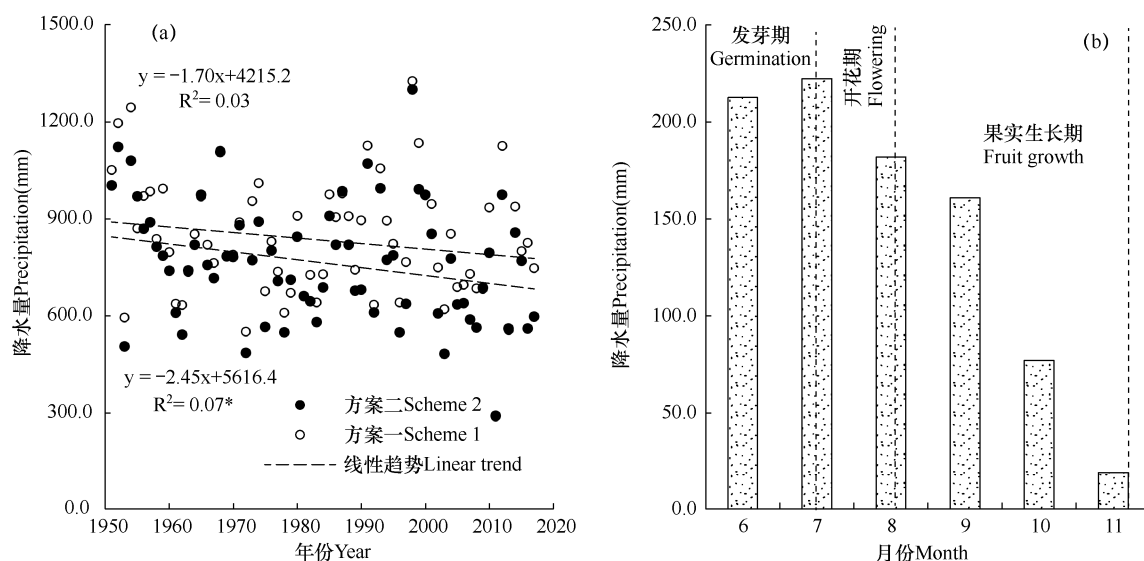


图 9 两种延迟萌芽方案后酿酒葡萄生长季内降水量 (a) 和生长季各月 (b) 降水量变化特征 (1951–2018 年)
Fig. 9 Variation characteristics of precipitation in wine grape growth period (a) and month (b) after two delayed germination schemes from 1951 to 2018

2.3.2 光照资源变化

由图 10 可知, 对于方案一, 以每年日平均气温稳定通过 10°C 终日为收获期时, 酿酒葡萄延迟萌芽多年生育期日照时数平均为 859.9h , 波动范围在 $647\sim 1094.7\text{h}$, 其中 32% 的年份高于当地实际酿酒葡萄所需的 906.6h 。近 68a, 模拟生育期日照时数以 $19.1\text{h}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 的速率极显著下降 ($P<0.01$)。对于方案二, 以每年初霜日为收获期时, 模拟生育期日照时数平均为 1006.5h , 波动范围在 $739.6\sim 1324.7\text{h}$, 其中 79% 的年份高于当地实际酿酒葡萄所需的 906.6h 。近 68a, 模拟生育期日照时数以 $24.0\text{h}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 的速率极显著下降 ($P<0.01$)。可见, 两种方案调整了萌芽期后, 生育期内日照时数下降速率减缓, 且能够满足当地实际酿酒葡萄生育期所需的日照时数。

2.3.3 农业气象灾害变化

由表 2 可见, 近 68a, 酿酒葡萄开花期实际遭遇高温灾害 9 次, 最高发生在 2012 年 (36.4°C); 平均年发生低温灾害 3.7 次, 最低温度为 1988 年的 5.9°C ; 果实成熟期降水量平均为 171.4mm , 最高达 412.1mm (2014 年), 研究期内呈显著减少趋势 ($P<0.05$), 平均年发生连阴雨次数 1.0 次。延迟萌芽后, 对于方案一, 近 68a, 酿酒葡萄开花期遭遇高温灾害 2 次, 最高发生在 2009 年 (35.5°C); 发生低温灾害 4 次, 最低温度为 1965 年的 13.2°C ; 果实成熟期降水量平均为 44.0mm , 呈显著减少趋势 ($P<0.05$), 最高达

134.0mm (1955 年), 年发生连阴雨次数 1.1 次。对于方案二, 近 68a, 酿酒葡萄开花期无高温灾害; 低温灾害发生 7 次, 最低温度为 1989 年的 12.7°C , 成熟期平均降水量为 11.1mm , 最多为 1955 年的 56.9mm , 延迟萌芽后减少趋势不明显, 平均年发生连阴雨次数 0.9 次, 减少趋势不明显。可见, 两种方案调整萌芽期后, 相比于实际生育期内, 延迟萌芽生育期内开花期高温灾害、成熟期降水量及连阴雨均较少, 有效规避了酿酒葡萄实际生育期遭受的主要农业气象灾害。

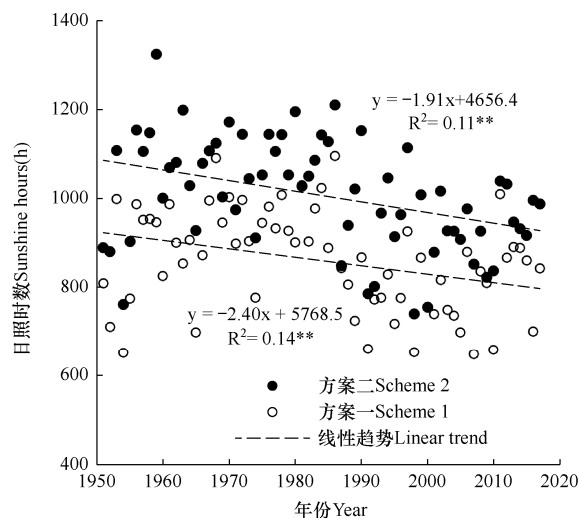


图 10 两种延迟萌芽方案后酿酒葡萄生长季日照时数的年变化特征 (1951–2018 年)

Fig. 10 Variation characteristics of sunshine hours in wine grape growth period after two delayed germination schemes from 1951 to 2018

表 2 采用两种延迟萌芽方案后酿酒葡萄生育期内主要农业气象灾害发生情况统计 (1951–2018 年)

Table 2 Statistics results of main agricultural meteorological disasters in wine grape growth period after two delayed germination schemes from 1951 to 2018

	灾害类型	平均值	最大值 (年份)	最小值 (年份)	次数/年数
	Disaster	Average	Max (year)	Low (year)	Times/years
实际生育期 Actual growth period	I	35.7	36.4 (2012)	35.1 (1958,2006)	9/68
	II	9.9	13.9 (1959,1960,1968,1972...)	5.9 (1988)	247/68
	III	171.4	412.1(2014)	40.6 (1953)	—
	IV	1.1	4.0 (1965,2004)	0(1951,1953,...)	72/68
方案一 Scheme 1	I	35.4	35.5 (2009)	35.2 (2009)	2/68
	II	13.5	13.7 (1957)	13.2 (1965)	4/68
	III	44.0	134.0(1955)	1.1 (1972)	—
	IV	1.1	3.0 (1952,1965,1966,1993)	—	74/68
方案二 Scheme 2	I	—	—	—	—
	II	13.3	13.9 (1957)	12.7 (1989)	7/68
	III	11.1	56.9 (1955)	0 (1959,1968,1986,1995,2012,2014)	—
	IV	0.85	3.0 (1965,1966)	—	58/68

注: I 为开花期高温 (°C), II 为开花期低温 (°C), III 为成熟期降水量 (mm), IV 为全生育期连阴雨次数, —表示未发生灾害。

Note: I is high temperature during flowering(°C), II is low temperature during flowering(°C), III is rainfall in mature period (mm), IV is times of continuous rain during whole growth period, — is no disaster occurred.

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 四川西昌全年农业气候资源丰富, 能满足酿酒葡萄生长发育的气候条件。全年平均、最高、最低温度和积温显著增加, 日平均气温稳定通过 0°C 和 10°C 持续时间、无霜期显著延长, 降水减少, 日照时数显著减少。实际生育期内连阴雨、开花期低温及成熟期降水过量灾害不容忽视。

(2) 从农业气候资源角度看, 四川西昌酿酒葡萄收获后仍有丰富的农业气候资源可供使用, 过去 68a, 日平均气温稳定通过 10°C 终止日期、终霜日和延迟萌芽时间均呈显著延迟趋势。日数时数下降速率减缓, 能够满足当地实际酿酒葡萄所需。日平均气温稳定通过 10°C 终止日期和终霜日平均分别为 11 月 13 日和 12 月 16 日。分别采取方案一和方案二, 以每年稳定通过 10°C 的终日和初霜日为收获期, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 平均活动积温 $3274.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 为热量标准, 反推延迟萌芽的时间平均分别为 6 月 3 号和 6 月 17 日, 延迟萌芽生育期内当地降水规律与酿酒葡萄需水规律一致, 规避了果实成熟期降水量过多引起的葡萄病虫害。延迟萌芽后生育期内发生连阴雨和开花期低温的风险均低于实际生育期, 可有效规避酿酒葡萄实

际生育期遭受的主要农业气象灾害。

3.2 讨论

四川西昌热量条件充足, 降水资源丰富, 日照时间长, 可满足酿酒葡萄生长发育的气候条件, 这与房玉林等^[43–46]的研究结果一致。

不同生育期的酿酒葡萄对温度要求不同, 日平均气温 10~12°C 葡萄开始萌芽, 新梢生长、开花、结果最适宜温度在 28~30°C, 浆果生长期要求不低于 20°C, 成熟期不低于 17°C^[37]。西昌酿酒葡萄实际生育期内平均温度为 17°C, 非常利于酿酒葡萄栽培。积温是决定酿酒葡萄能否成熟及品质优劣的主要气候因子, 依据不同酿酒葡萄品种对活动积温的需求, 活动积温 2100~2300°C·d 适宜种植极早熟品种, 2300~2700°C·d 适宜种植早熟品种, 2700~3200°C·d 适宜种植中熟品种, 3200~3500°C·d 适宜种植晚熟品种, $>3500^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 适宜种植极晚熟品种^[26]。西昌地区酿酒葡萄实际生育期的积温条件可满足早、中、晚熟及部分极晚熟酿酒葡萄品种的需求, 21 世纪以来, 该地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温显著增加。无霜期 $<160\text{d}$ 的地区, 认为其不具备栽培葡萄所需的热量条件^[26]。西昌地区酿酒葡萄实际生育期无霜期平均值为 307d, 远大于酿酒葡萄所需的 160d, 满足酿酒葡萄

不同品种对无霜期的需求, 为调整优化酿酒葡萄种植结构、延迟萌芽技术的实施提供了可能, 这与李华等^[26]研究结果一致。

目前西昌地区葡萄栽培仍采取常规栽培方式, 一方面, 酿酒葡萄如期收获后, 仍有丰富的农业气候资源尚未被利用, 另一方面, 果实成熟期恰逢雨季, 降水充沛, 容易引起病虫害发生, 影响高品质酿酒原材料的获取。针对以上问题, 本研究分别采取方案一和方案二延迟萌芽, 计算发现, 延迟萌芽栽培下酿酒葡萄生育期降水和光照资源基本都能满足, 6-11 月降水规律与高品质酿酒葡萄的需水规律刚好吻合, 日照时数减少速率减缓。表明延迟萌芽可以满足酿酒葡萄对农业气候资源的需求。此外, 利用栽培时间和空间的差异, 分析了酿酒葡萄实际和延迟栽培生育期内高、低温灾害、成熟期降水量和连阴雨灾害发生的频次, 表明延迟萌芽规避了开花期高低温灾害、连阴雨及果实成熟期降水量引起的葡萄病虫害。房玉林^[47]在西南干热河谷地区尝试采用了延迟萌芽技术, 以推迟酿酒葡萄的成熟期。

在前人开展葡萄产期调节的基础上^[31, 43, 47], 从农业气候资源、农业气象灾害的角度深入分析延迟萌芽气候的可行性, 探索酿酒葡萄产期调节的理论基础, 趋利避害, 实现延迟萌芽, 提高酿酒葡萄品质, 这对中国西南干热河谷地区大规模发展葡萄与葡萄酒产业具有深远的现实和理论意义。但本研究仅采用西昌数据, 分析该地区酿酒葡萄的适应可能性, 由于地区间存在小气候效应及品种特性不同, 可能会存在偏差, 且尚未开展区域延迟萌芽技术的深入研究, 未来可以从区域角度深入探讨延迟萌芽技术实现的气候资源可行性。

参考文献 References

- [1] 杨晓光, 李勇, 代姝玮, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 IX. 中国农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3177-3188.
Yang X G, Li Y, Dai S W, et al. Changes of China agricultural climate resources under the background of climate change: IX. Spatiotemporal change characteristics of China agricultural climate resources[J]. Chinese Journal Applied Ecology, 2011, 22(12): 3177-3188. (in Chinese)
- [2] 马春花, 邵建辉, 蔡建林, 等. 极具特色的云南葡萄与葡萄酒[J]. 酿酒科技, 2011(7): 123-125.
Ma C H, Shao J H, Cai J L, et al. The unique features of grape and grape wine in Yunnan[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2011(7): 123-125. (in Chinese)
- [3] 刘效义, 张亚芳, 宋长冰. 酿酒葡萄生态区划问题初探[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 1999(1): 21-24.
Liu X Y, Zhang Y F, Song C B. Preliminary study on ecological regionalization of wine grape[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 1999(1): 21-24. (in Chinese)
- [4] Gong L, Xu C, Chen D, et al. Influence of temperature on composition and quality of grapes[J]. Acta Horticulture, 1987(206): 23-33.
- [5] 代姝玮, 杨晓光, 赵孟, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 II. 西南地区农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(02): 442-452.
Dai S W, Yang X G, Zhao M, et al. Changes of China agricultural climate resources under the background of climate change. II. Spatiotemporal change characteristics of agricultural climate resources in Southwest China[J]. Chinese Journal Applied Ecology, 2011, 22(02): 442-452. (in Chinese)
- [6] 李萌, 申双和, 褚荣浩, 等. 近 30 年中国农业气候资源分布及其变化趋势分析[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(21): 1-11.
Li M, Shen S H, Chu R H, et al. The analysis of agricultural climate resources distribution and its change trends over 30 years in China[J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(21): 1-11. (in Chinese)
- [7] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.
Ren G Y, Chu Z Y, Zhou Y Q, et al. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China[J]. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4): 701-716. (in Chinese)
- [8] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994(12): 19-26.
Ding Y H, Dai X S. Temperature variation in China during the last 100 years[J]. Meteorological Monthly, 1994(12): 19-26. (in Chinese)
- [9] 芦鑫, 殷淑燕, 王水霞, 等. 秦岭南北地区农业气候资源时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(8): 1866-1878.
Lu X, Yin S Y, Wang S X, et al. Temporal and spatial variation of agricultural climatic resources in the northern and southern regions of the Qinling mountains[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(8): 1866-1878.

- (in Chinese)
- [10] 戴声佩,李茂芬,罗红霞,等.川滇交界干热河谷地区农业气候资源特征[J].热带作物学报,2018,39(6):1225-1234.
- Dai S P,Li M F,Luo H X,et al.The characteristics of agricultural climate resources in the dry-hot valley area of Sichuan province and Yunnan province[J].Chinese Journal of Tropical Crops,2018,39(6):1225-1234.(in Chinese)
- [11] 陈晓艺,曹雯,王晓东,等.淮河流域南部作物生长季农业气候资源特征分析[J].生态环境学报,2018,27(6):1005-1015.
- Chen X Y,Cao W,Wang X D,et al.Analysis of agroclimatic resource characteristics of main crops growing season in the south of Huaihe River Basin[J].Ecology and Environmental Sciences,2018,27(6):1005-1015.(in Chinese)
- [12] 谭方颖,王建林,宋迎波,等.华北平原近 45 年农业气候资源变化特征分析[J].中国农业气象,2009,30(1): 19-24.
- Tan F Y,Wang J L,Song Y B,et al.Analysis of changing characteristics of agricultural climate resources over last 45 years in North China Plain[J].Chinese Journal of Agrometeorology, 2009,30(1):19-24.(in Chinese)
- [13] 刘志娟,杨晓光,王文峰,等.气候变化背景下我国东北三省农业气候资源变化特征[J].应用生态学报,2009,20(9): 2199-2206.
- Liu Z J,Yang X G,Wang W F,et al.Characteristics of agricultural climate resources in three provinces of Northeast China under global climate change[J].Chinese Journal Applied Ecology, 2009,20(9):2199-2206.(in Chinese)
- [14] 蔡霞,吴占华,梁桂花,等.近 53a 山西朔州市农业气候资源变化特征分析[J].干旱气象,2011,29(1):88-93.
- Cai X,Wu Z H,Ling G H,et al.Variation of agricultural climate resources in Shuozhou of Shanxi in recent 53 years[J].Journal of Arid Meteorology,2011,29(1):88-93.(in Chinese)
- [15] 马洁华,刘园,杨晓光,等.全球气候变化背景下华北平原气候资源变化趋势[J].生态学报,2010,30(14): 3818-3827.
- Ma J H,Liu Y,Yang X G,et al.Characteristics of climate resources under global climate change in the North China Plain[J].Acta Ecologica Sinica,2010,30(14):3818-3827.(in Chinese)
- [16] 侯依玲,许瀚卿,王涛,等.未来东北地区农业气候资源的时空演变特征[J].气象科技,2019,47(1):154-162.
- Hou Y L,Xu H Q,Wang T,et al.Spatiotemporal change of future agricultural climate resources in Northeast China [J].Meteorological Science And Technology,2019,47(1): 154-162.(in Chinese)
- [17] 崔读昌.世界谷物产量与农业气候资源利用效率[J].自然资源学报,1995(1):85-94.
- Cui D C.The cereal yield in the world and the utilization efficiency of agroclimatic resources[J].Journal of Natural Resources,1995(1):85-94.(in Chinese)
- [18] 郭建平,高素华,刘玲.我国西部地区农业开发与农业气候资源高效利用[J].资源科学,2002,24(2):22-25.
- Guo J P,Gao S H,Liu L.Agricultural development and efficient utilization of agroclimatic resources in western region of China[J].Resources Science,2002,24(2):22-25.(in Chinese)
- [19] 于沪宁,李伟光.农业气候资源分析和利用[M].北京:气象出版社,1985.
- Yu H N, Li W G. Analysis and utilization of agricultural climate resources[M].China Meteorology Press,1985.(in Chinese)
- [20] 马雅丽,郭建平.近 36 年东北地区春玉米气候资源利用率评估[J].气象与环境科学,2018,41(2):1-10.
- Ma Y L,Guo J P.Evaluation of climatic resource utilization during spring maize in Northeast China in recent 36 years[J].Meteorological and Environmental Sciences, 2018, 41(2): 1-10.(in Chinese)
- [21] 郭佳,张宝林,高聚林,等.气候变化对中国农业气候资源及农业生产影响的研究进展[J].北方农业学报, 2019,47(1): 105-113.
- Guo J,Zhang B L,Gao J L,et al.Advances on the impacts of climate change on agro-climatic resources and agricultural production in China[J].Journal of Northern Agriculture, 2019,47(1):105-113.(in Chinese)
- [22] Jean-Luc BERGER.气候变化对全球葡萄种植和葡萄酒酿造的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2008(5):61-63.
- Berger J L.The impact of climate change on global grape planting and wine making[J].Sino-Overseas Grapevine & Wine,2008(5):61-63.(in Chinese)
- [23] 陶磅,贾克功.果树保护地延迟栽培技术研究现状与展望 [J].中国农业科技导报,2000(5):49-53.
- Tao P,Jia K G.Current situation and prospect of delayed cultivation of fruit trees under greenhouse[J].Journal of Agricultural Science and Technology,2000(5):49-53.(in Chinese)
- [24] 李华,火兴三.酿酒葡萄区划热量指标的研究[J].西北农林

- 科技大学学报(自然科学版),2006(12):69-73.
- Li H,Huo X S.Study of the zoning thermal indexes of the grapevine[J].Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition),2006(12):69-73.
- [25] Goudriaan J,Unsworth M H.Implications of increasing carbon dioxide and climate change for agricultural productivity and water resources[J].Agricultural Productivity & Water Resources,1990:111-130.
- [26] 李华,王华.中国葡萄气候区划[M].咸阳:西北农林科技大学出版社,2015.
- Li H,Wang H.Climatic zoning for viticulture in China[M].Northwest A & F University Press,2005.(in Chinese)
- [27] 闫凤君,王晓立,徐伟.高密市酿酒葡萄栽培气象条件分析[J].现代农业科技,2015(21):247-248.
- Yan F J,Wang X L,Xu Y.Analysis of meteorological conditions of grape cultivation in Gaomi City[J].Modern Agricultural Science and Technology,2015(21):247-248.(in Chinese)
- [28] 修德仁,周润生,晁无疾,等.干红葡萄酒用品种气候区域化指标分析及基地选择[J].葡萄栽培与酿酒,1997(3):24-28.
- Xiu D R,Zhou R S,Chao W J,et al.Index analysis of climate regionalization for dry red wine varieties and the varieties base selection[J].Viticulure& Enology,1997(3):24-28.(in Chinese)
- [29] 郑铭西,丁绍海.福建闽东南巨峰葡萄一年双季结果栽培技术[J].河北林业科技,2014(S1):198-201.
- Zheng M X,Ding S H.Double season fruit cultivation techniques of Jufeng grape in Southeast Fujian[J].Hebei Forestry Science and Technology,2014(S1):198-201.(in Chinese)
- [30] 房玉林,陈书霞,李华.酿酒葡萄延迟栽培方式的研究[J].中国农学通报,2005(5):304-307.
- Fang Y L,Chen S X,Li H.Delayed viticulture of wine grape in southwestern hot-dry valley region[J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2005(5):304-307.(in Chinese)
- [31] 房玉林,李华,张振文.西南干热河谷地区葡萄产期调节的可行性研究[J].西南农业大学学报(自然科学版),2005(5):31-35.
- Fang Y L,Li H,Song J W,et al.Advance in regulating methods of grape fruit maturity[J].Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica,2005(3):103-106.
- [32] 吕智敏,刘明,刘美兰,等.巨峰葡萄二次果保护地延迟成熟栽培技术[J].中国果树,2001(4):46-47.
- Lv Z M,Liu M,Liu M L,et al.Cultivation techniques of late ripening in Jufeng grape secondary fruit reserve[J].Chinese Fruits,2001(4):46-47.(in Chinese)
- [33] 田维鑫,文勇,起永智,等.攀西地区酿酒葡萄适应性发展初探[J].中外葡萄与葡萄酒,2000(2):36-37.
- Tian W X,Wen Y,Qi R Z,et al.Study on the adaptability development of wine grape in Panxi Area[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine,2000(2):36-37.(in Chinese)
- [34] 鲍文.气象灾害对我国西南地区农业的影响及适应性对策研究[J].农业现代化研究,2011,32(1):59-63.
- Bao W. Impact of meteorological disasters on agriculture of southwest China and its adaptive countermeasures[J]. Research of Agricultural Modernization, 2011,32(1): 59-63. (in Chinese)
- [35] 刘加强,汪荣,张加魁.云南高原葡萄种植公司二万亩酿酒葡萄示范基地建设[J].中外葡萄与葡萄酒,2000(4):40-42.
- Liu J Q,Wang R,Zhang J K.Construction of 20000 mu wine grape demonstration base of Yunnan Plateau grape planting company[J].Sino-Overseas Grapevine& Wine,2000(4): 40-42. (in Chinese)
- [36] 崔耀平,肖登攀,刘素洁,等.中国夏玉米和冬小麦近年生育期变化及其与气候的关系[J].中国生态农业学报,2018,26(3):388-396.
- Cui Y P,Xiao D P,Liu S J,et al.Growth periods variation of summer maize and winter wheat and their correlations with hydrothermal conditions in recent years in China[J].Chinese Journal of Eco-Agriculture,2018,26(3):388-396.(in Chinese)
- [37] 李华.葡萄集约化栽培手册[M].西安:西安地图出版社,2002.
- Li H.Manual of intensive grape cultivation[M].Xian:Xi'an Map Publishing Press,2002.
- [38] 火兴三.中国酿酒葡萄气候区划指标体系及区域化研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2006.
- Huo X S.Study of the zoning thermal indexes of the grapevine and viticulture zoning in china[D]. Yangling: Northwest A&F University,2006.(in Chinese)
- [39] 张晓煜,陈卫平,张磊.中国北方酿酒葡萄生态区划[M].北京:气象出版社,2014.
- Zhang X Y,Chen W P,Zhang L,et al.Ecological regionalization of wine grapes in northern China[M]. China Meteorology

- Press,2014.(in Chinese)
- [40] 缪启龙,丁园圆,王勇,等.气候变暖对中国热量资源分布的影响分析[J].自然资源学报,2009,24(5):934-944.
- Miu Q L,Ding Y Y,Wang Y, et al.Impact of climate warming on the distribution of China's thermal resources[J].Journal of Natural Resources,2009,24(5):934-944.(in Chinese)
- [41] 叶殿秀,张勇.1961-2007 年我国霜冻变化特征[J].应用气象学报,2008,19(6):661-665.
- Ye D X,Zhang Y.Characteristics of frost changes from 1961 to 2007 over China[J].Journal of Applied Meteorological Science,2008,19(6):661-665.(in Chinese)
- [42] 周鹏康,秦金梅,孙秀芬,等.云南 1981-2010 年 5-10 月连阴雨时空分布特征[J].干旱气象,2015,33(5):796-801.
- Zhou P K,Qin J M,Sun X F,et al.Temporal and spatial distribution and change trend of cloud water of different types clouds in southwest China[J].Journal of Arid Meteorology,2015,33(5):796-801.(in Chinese)
- [43] 房玉林,李华,刘树文.西昌地区葡萄生产中存在的问题及解决途径[J].中国南方果树,2001(3):45-46.
- Fang Y L,Li H,Liu S W.Problems and solutions in grape production in Xichang area[J].Fruit Trees in South China,2001(3):45-46.(in Chinese)
- [44] 李贵华,张武,陆晓英,等.干热河谷元谋区红地球葡萄主要病虫害及其防治[J].中国南方果树,2014,43(1):91-93.
- Li G H,Zhang W,Lu X Y,et al.Main diseases and insect pests of Red Globe grape and their control in Yuanmou District of Dry Hot Valley[J].Chinese Journal of Tropical Agriculture,2014,43(1):91-93.(in Chinese)
- [45] 郭淑萍,陈艳林,李佛莲,等.云南金沙江干热河谷早熟葡萄产业发展现状、问题及对策[J].热带农业科学,2017,37(9):98-100.
- Guo S P,Chen Y L,Li F L,et al.The developing status, problems and countermeasures of early-mature grape industry in dry-hot valley of Jinshajiang River in Yunnan Province[J].Chinese Journal of Tropical Agriculture,2017,37(9):98-100.(in Chinese)
- [46] 何毅.四川藏区干热河谷地带酿酒葡萄栽培技术[J].四川农业科技,2013(6):26-28.
- He Y.Cultivation techniques of wine grape in dry hot valley of Sichuan Tibetan region[J].Sichuan Agricultural Science and Technology,2013(6):26-28.(in Chinese)
- [47] 房玉林.西南干热河谷地区酿酒葡萄栽培方式及休眠规律的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2003.
- Fang Y L.Studies on the cultivating mode and bud dormancy characteristics of wine grapes in southwest hot-dry valley region of China [D].Northwest A&F University,2003.(in Chinese)