

李荣,李春艳,陈彦虎.气候变化对宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生态种植气候适宜区的影响[J].山西农业科学,2026,54(2):139-147.

LI R, LI C Y, CHEN Y H. Influence of climate change on climate suitable area for wine grape ecological planting in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2026, 54(2): 139-147.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2026.02.17

## 气候变化对宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生态种植气候适宜区的影响

李荣<sup>1,2,3</sup>, 李春艳<sup>1,2,3</sup>, 陈彦虎<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 宁夏银川 750002;

2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏银川 750002; 3. 石嘴山市气象局, 宁夏石嘴山 753000)

**摘要:**利用宁夏贺兰山东麓12个国家级气象站1981—2020年的历史气候资料,采用数理统计及基于ArcGIS的混合插值法,结合酿酒葡萄气候区划指标,对气候变化背景下宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生态种植气候适宜区的变化进行分析。结果表明,近40 a酿酒葡萄种植区无霜期呈显著上升趋势,气候倾向率为4.64 d/10 a, 7—9月 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温以31.52( $^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ )/10 a的增幅呈显著上升趋势,7—9月水热系数逐年变化不大。Mann-Kendall突变检验结果表明,无霜期和7—9月 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温均在1998年之后显著上升,7—9月水热系数没有发生突变。从空间分布来看,无霜期总体表现为“北部短,南部长”的空间分布格局,1998年后无霜期 $> 180\text{ d}$ 的区域进一步扩大;7—9月 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温表现为“南北多,中间少”的格局,1998年后除石炭井外,整个贺兰山东麓7—9月 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温均在1 900  $^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ 以上;7—9月水热系数空间分布格局表现为1998年前“北部小,中部和南部大”,1998年后为“北部大,中南部小”。区划结果表明,受气候变化影响,1998年后97%以上的面积为酿酒葡萄生态种植气候适宜区,其中,最优区面积增加310.71  $\text{m}^2$ ,占总面积的13.3%;不适宜区面积大幅缩减,共减少512.4  $\text{m}^2$ ,占总面积的22.0%。

**关键词:**气候变化;酿酒葡萄;Mann-Kendall突变检验;生态种植区划;宁夏贺兰山东麓

中图分类号:S663.1 文献标识码:A 文章编号:1002-2481(2026)02-0139-09

## Influence of Climate Change on Climate Suitable Area for Wine Grape Ecological Planting in the Eastern Foothills of Helan Mountain in Ningxia

LI Rong<sup>1,2,3</sup>, LI Chunyan<sup>1,2,3</sup>, CHEN Yanhu<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Monitoring, Early Warning, and Risk Management of Characteristic Agriculture in Arid Regions, China Meteorological Administration, Yinchuan 750002, China;

2. Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing in Ningxia, Yinchuan 750002, China;

3. Shizuishan Meteorological Bureau, Shizuishan 753000, China)

**Abstract:** In this study, based on the historical climatic data of 12 national meteorological stations in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia from 1981 to 2020, the changes of climate suitable area for wine grape ecological planting in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia under the background of climate change were analyzed by mathematical statistics and mixed interpolation method based on ArcGIS, combined with the climatic regionales of wine grapes. The results showed that the frost-free period showed a significant upward trend in the past 40 years, the climate tendency rate was 4.64 d/10 a, the active accumulated temperature  $\geq 10^\circ\text{C}$  from July to September showed a significant upward trend with an increase rate of 31.52( $^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ )/10 a, and the hydrothermal coefficient from July to September did not change obviously year by year. Mann-

收稿日期:2024-07-16

基金项目:宁夏自然科学基金(2022AAC03762)

作者简介:李荣,高级工程师,硕士,主要从事气候变化与农业气象研究,E-mail: lironger2010@163.com

通信作者:陈彦虎,高级工程师,主要从事应用气象和农业气象研究,E-mail: nxchenyh@163.com

Kendall mutation test showed that the frost-free period and the active accumulated temperature  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  from July to September were all increased significantly after 1998, and there was no abrupt change in hydrothermal coefficient from July to September. From the perspective of spatial distribution, the frost-free period was generally displayed as a spatial distribution pattern of "short in the north and long in the south", and the regions with frost-free period  $>180\text{ d}$  further expanded since 1998. The active accumulated temperature  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  from July to September showed a pattern of "more in the north and south, less in the middle". After 1998, except for Shitanjing, the active accumulated temperature  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  from July to September in the eastern foothills of Helan Mountain was all above  $1\ 900\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ . The spatial distribution pattern of the hydrothermal coefficient from July to September was "small in the north, large in the middle and south" before 1998, and "large in the north, small in the middle and south" after 1998. The regionalization results showed that under the influence of climate change, more than 97% of the area after 1998 was the climate suitable area for wine grape ecological planting, among which, the area of the optimal area increased by  $310.71\text{ m}^2$ , accounting for 13.3% of the total area, and the area of the unsuitable area decreased significantly, reducing  $512.4\text{ m}^2$ , accounting for 22.0% of the total area.

**Keywords:** climate change; wine grape; Mann-Kendall mutation test; ecological planting regionalization; eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia

宁夏贺兰山东麓是业界认可的酿酒葡萄世界最佳产区,已成为我国酿酒葡萄种植集中连片最大、酒庄数量最多、酒庄集群化发展最快的优质葡萄酒产区<sup>[1]</sup>。主产区位于山前洪积扇与黄河冲积平原之间,海拔  $1\ 130\sim 1\ 200\text{ m}$ ,南北跨度大,处于季风气候边缘,是受气候变化影响最显著的区域之一<sup>[2]</sup>。全球气候变暖背景下,诸多学者对我国不同地区不同作物的气候适宜度进行了分析<sup>[3-5]</sup>,针对酿酒葡萄更多学者则以气候区划指标研究气候变化对其品质与区划的影响。国外,BONADA等<sup>[6]</sup>、MIRA<sup>[7]</sup>与 SONG等<sup>[8]</sup>分别研究温度、降水与太阳辐射等气候条件的变化对酿酒葡萄糖分、花色苷、酚类物质以及单宁含量的具体影响,认为气候变化对酿酒葡萄品质影响显著。在国内,李华等<sup>[9-11]</sup>和火兴三<sup>[12]</sup>对国内各气候区划指标体系进行了比较,以无霜期为区划的第一指标,生长季的干燥度为二级指标,以埋土防寒线为三级指标将我国的酿酒葡萄种植气候区划为 12 个区。王蕾<sup>[13]</sup>在我国酿酒葡萄气候区划的基础上,将 12 个亚区进一步细分为 36 个不同类型的小产区。在宁夏,王华等<sup>[14]</sup>将宁夏酿酒葡萄气候区划分为 5 个区域,在 4 个适宜葡萄栽培种植区域中有 2 个主要集中在贺兰山东麓。张晓煜等<sup>[15]</sup>对宁夏酿酒葡萄的气候区划研究显示,最优区集中在贺兰山东麓和中卫东北部地区。李红英等<sup>[16]</sup>用 GIS 小网格化技术进一步细化宁夏酿酒葡萄区划,结果表明,中熟品种气候适宜区分布在灌区银川以南的大部区域,晚熟品种气候适宜区分布在银川及其以北大部区域。

近年来,气候变化明显,宁夏贺兰山东麓区域生态环境脆弱,更容易受气候变化影响,之前的气候区划研究已经不能满足当前的实际需求<sup>[17]</sup>,且鲜

有以气候突变点分阶段,针对宁夏贺兰山东麓具体酿酒葡萄栽培地的气候因子变化量进行分析。

本研究利用宁夏贺兰山东麓 12 个国家气象站 1981—2020 年的逐日气候资料,分析近 40 a 酿酒葡萄生长季无霜期、7—9 月水热系数、7—9 月  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  活动积温等气象要素的突变特征,并对突变前后的生态种植区的变化进行气候适宜性区划,研究气候变化对宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生态种植气候区划的影响,对适应气候变化、科学制定宁夏酿酒葡萄发展规划、促进宁夏葡萄酒产业高质量发展具有重要意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 气象资料

选取宁夏贺兰山东麓 12 个国家气象站 1981—2020 年期间的逐日平均气温、最高气温、最低气温、降水量等气候资料,统计近 40 a 酿酒葡萄生长季无霜期、7—9 月  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  活动积温、7—9 月水热系数等气象要素资料。本研究所选气象站均为产区主要代表站,气象资料来自宁夏回族自治区气象信息中心,经过严格的质量控制,完整性和准确性良好。

### 1.2 研究方法

采用线性趋势分析、累积距平、Mann-Kendall 突变检验<sup>[18]</sup>和  $t$ -检验以及基于 ArcGIS 的混合插值法对数据进行统计分析并作图。

### 1.3 区划指标

通过对国内各地区酿酒葡萄种植气候区划指标进行筛选,结合李华等<sup>[19]</sup>、罗国光等<sup>[20]</sup>、张晓煜等<sup>[15]</sup>的研究成果,选取无霜期作为一级指标,7—9 月水热系数作为二级指标,7—9 月  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  活动积

温作为辅助指标对近 40 a 宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生态种植区进行气候适宜性区划(表 1)。

表 1 宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生态种植适宜性气候区划指标  
Tab.1 The climate suitable regionalization index of wine grape ecological planting in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia

气候指标 Climatic index	最优区 Optimal region	适宜区 Suitable region	次适宜区 Subsuitable region	不适宜区 Unsuitable region
无霜期/d Frost-free period	>200~220	>180~200或>220	>160~180	≤160
7—9月水热系数 Hydrothermal coefficient from July to September	>0.1~0.8	>0.8~1.6	≤0.1或>1.6~2.5	>2.5
7—9月≥10℃活动积温/(℃·d) Active accumulated temperature ≥10℃ from July to September	>1 900~2 300	>1 400~1 900	>1 300~1 400	≤1 300

水热系数(K)指降水量与同期可蒸发量之比,反映降雨与温度的关系,K值越大,环境越湿润<sup>[10,21]</sup>。

$$K = \sum P / (0.1 \sum T) \quad (1)$$

式中, $\sum T$ 为成熟采收期日平均气温≥10℃期间的活动积温, $\sum P$ 为同期的降水量。

## 2 结果与分析

### 2.1 气候要素的年、年代变化趋势分析

#### 2.1.1 气候要素年变化趋势 由图 1 可知,1981—

2020年,宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄种植区平均无霜期为 181.4 d,最长为 201.4 d,出现在 2009 年,最短 155.3 d,出现在 1982 年,无霜期年际间差异为 46.1 d,近 40 a 呈显著上升趋势,气候倾向率为 4.64 d/10 a。7—9 月≥10℃活动积温平均为 1 937.4℃·d,最大值为 2 039.2℃·d,出现在 2016 年,最小值为 1 808.0℃·d,出现在 1985 年,年际间差异达到 231.2℃·d,近 40 a 以 31.52(℃·d)/10 a 的增幅呈显著上升趋势。7—9 月平均水热系数为 0.6,逐年变化不大,气候倾向率为 0.02/10 a。

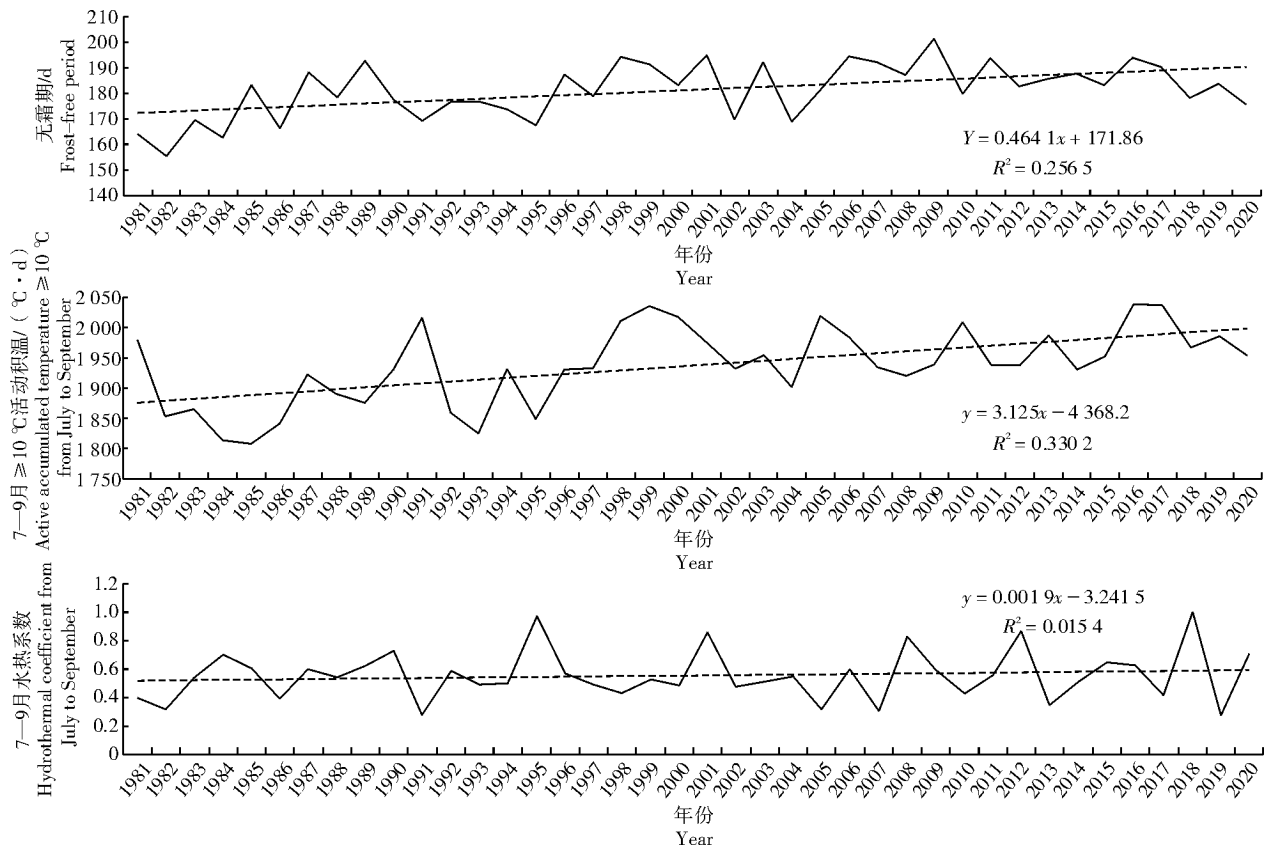


图 1 1981—2020 年宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生育期气候要素变化  
Fig.1 Changes in climate factors during wine grape growth period in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia from 1981 to 2020

2.1.2 气候要素各年代变化趋势 由表 2 可知,相对于常年平均值(1991—2020 年)而言,各年代无霜期呈增加趋势,其中 20 世纪 80 年代和 90 年代分别偏少 10.1、4.0 d,21 世纪 00 年代、10 年代分别偏多 2.3、1.6 d。7—9 月  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温逐年代增加

趋势显著,其中 20 世纪 80、90 年代分别较常年同期偏少 79.1、16.0  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,21 世纪 00 年代基本与常年同期持平,21 世纪 10 年代偏多 15.9  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。7—9 月水热系数各年代变化不大,其中 21 世纪 00 年代略偏少 0.03,到 21 世纪 10 年代略偏多 0.04。

表 2 宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生育期气候要素不同年代变化  
 Tab.2 Changes in climatic factors during wine grape-growth period in different years in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia at different ages

时期 Period	无霜期/d Frost-free period		7—9 月 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温/ $(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$ Active accumulated temperature $\geq 10^{\circ}\text{C}$ from July to September		7—9 月水热系数 Hydrothermal coefficient from July to September	
	各年代值 Values by age	距平 Anomaly	各年代值 Values by age	距平 Anomaly	各年代值 Values by age	距平 Anomaly
1981—1990	173.8	-10.1	1 878.1	-79.1	0.55	-0.01
1991—2000	179.9	-4.0	1 941.1	-16.0	0.57	0.01
2001—2010	186.2	2.3	1 957.2	0.1	0.53	-0.03
2011—2020	185.5	1.6	1 973.1	15.9	0.60	0.04
均值 Average value	181.4	-2.5	1 937.4	-19.8	0.56	0.00

2.2 气候要素突变特征分析

Mann-Kendall 突变检验如图 2 所示。

宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生育期气候要素

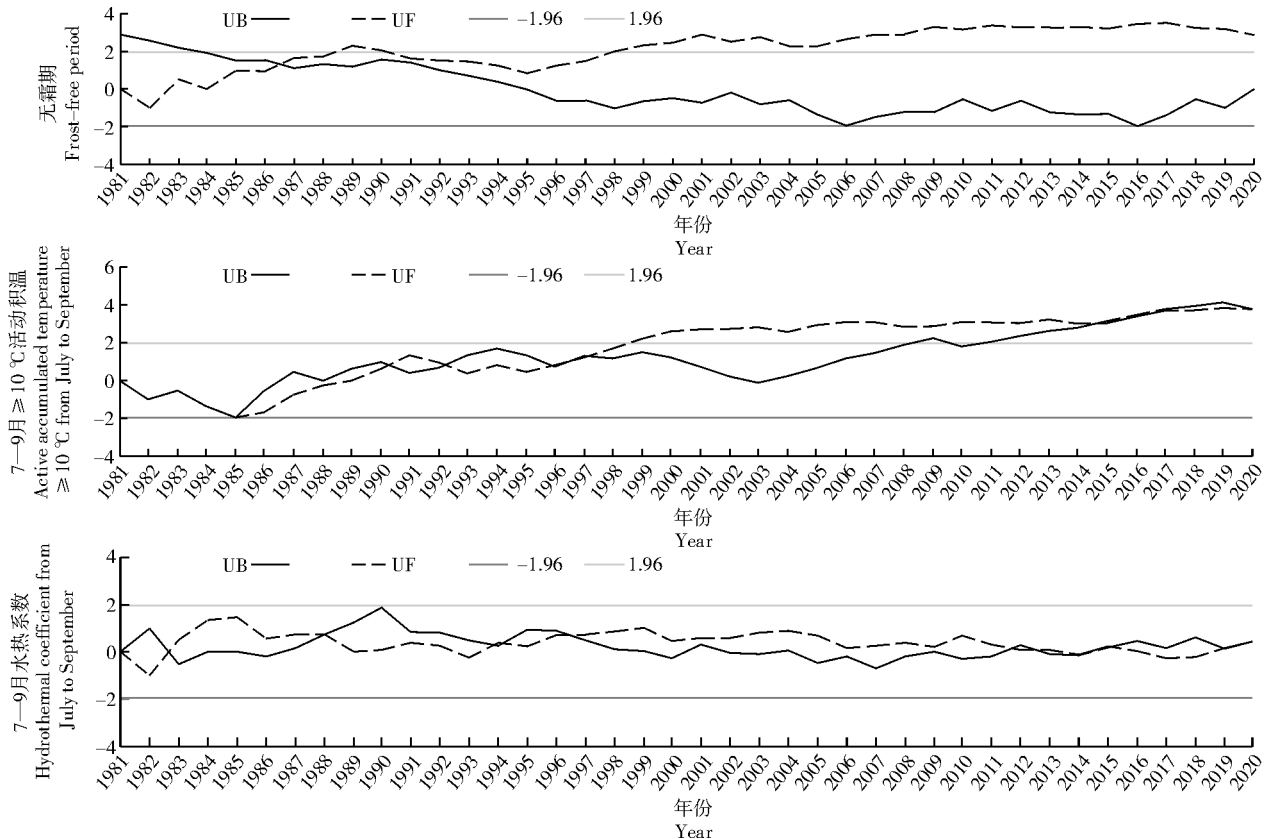


图 2 宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生育期气候要素 Mann-Kendall 突变检验

Fig.2 The Mann-Kendall mutation test of climate factors during wine grape growth period in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia

利用 Mann-Kendall 突变检验方法,计算各气候要素序列的 UF 和 UB 统计量(图 2),取  $\alpha=0.05$ ,则 UF 和 UB 的临界值为  $\pm 1.96$ 。从无霜期的检验结果(图 2)可以看出,UF 和 UB 曲线相交于 1987 年,表明突变点在 1987 年。UF 和 UB 相交后,UF 在 1998 年超过临界值(1.96),且继续上升,说明无霜期日数在 1998 年之后上升趋势明显。对 1981—1987 年和 1988—2020 年无霜期日数进行  $t$  检验, $P$  双尾值为 0.018,通过  $\alpha=0.05$  信度水平检验,表明 1981—1987、1988—2020 年数值差异较大,存在突变。1981—1987 年平均无霜期为 169.9 d,1988—2020 年为 183.8 d,突变后较突变前平均无霜期延长了 13.9 d。

通过对 7—9 月  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温的突变检验结果(图 2)表明,UF 和 UB 分别在 1992、1997、2015 年相交,再通过滑动  $t$  检验, $P$  双尾值均小于 0.05,结果表明,7—9 月  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温在 1992、1997、2015 年均发生突变,但以 1997 年最为显著,UF 在 1998 年超过临界值(1.96),且继续上升,说明 7—9 月  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温在 1998 年之后上升趋势明显,因此,将 1997 年作为 7—9 月  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温的突变点,统计突变前后的变化值。1981—1997 年 7—9 月  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温平均值为  $1\ 889.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,1998—2020 年为  $1\ 972.5^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,7—9 月  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温突变后较突变前平均增加了  $82.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

对 7—9 月水热系数进行突变检验(图 2),UF 和 UB 分别在 1983、1988、1994、1996、2013、2014、2015 年相交,但均未超过临界值(1.96),再通过滑动  $t$  检验, $P$  双尾值均大于 0.05,表明 7—9 月水热系数没有达到突变水平。

### 2.3 各气候要素空间分布的变化

通过以上对宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生育期间各气候要素突变分析表明,无霜期在 1987 年发生突变,在 1998 年之后显著上升;7—9 月  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温在 1992、1997、2015 年均发生突变,但以 1997 年最为显著,且在 1998 年之后上升趋势明显;7—9 月水热系数没有发生突变。无霜期和 7—9 月  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温均在 1998 年之后显著上升,故本研究以 1998 年作为突变点,分析突变前 1981—1997 年和突变后 1998—2020 年各气候要素的空间分布变化情况。

2.3.1 无霜期 宁夏贺兰山东麓无霜期总体表现为“北部短,南部长”的空间分布格局(图 3)。从酿酒葡萄生态种植适宜程度来看,1998 年前,无霜期没有  $>200$  d 的区域,也没有  $<160$  d 的区域,180~200 d 的主要分布在吴忠、贺兰和石嘴山西南部,其余大部区域无霜期在 160~180 d;1998 年后,吴忠的无霜期达到 200 d,同时 180~200 d 的区域扩大,整个石嘴山以南的地区无霜期均在 180 d 以上,160~180 d 的区域分布在北部。

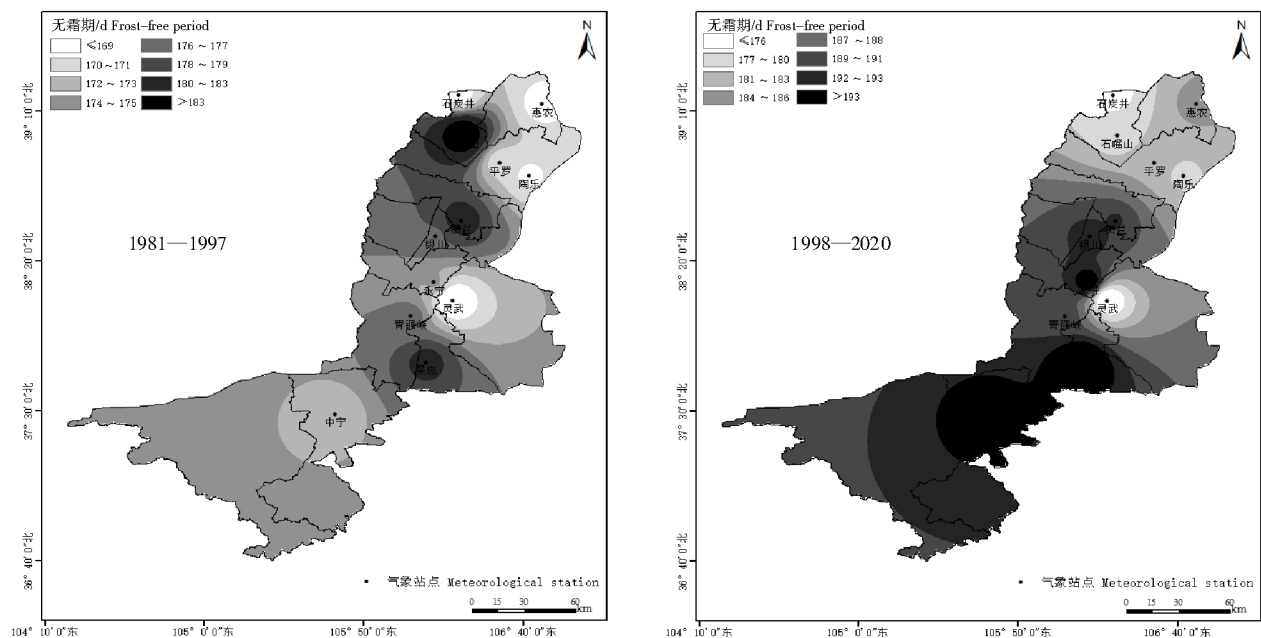


图 3 1981—1997、1998—2020 年宁夏贺兰山东麓无霜期空间分布  
Fig.3 Spatial distribution of frost-free periods in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia during 1981—1997 and 1998—2020

2.3.2 7—9月 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 宁夏贺兰山东麓7—9月 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温空间分布总体表现为“南北两头多,中间少”的格局(图4)。1998年前,7—9月 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 $> 1900^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 的区域主要分布在贺兰山以北和中宁地区,中部地区7—9月 $\geq$

$10^{\circ}\text{C}$ 活动积温在 $1800^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 左右;1998年后,除石炭井外,整个贺兰山东麓7—9月 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温均在 $1900^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上,根据酿酒葡萄生态种植适宜程度,最优种植区进一步扩大。

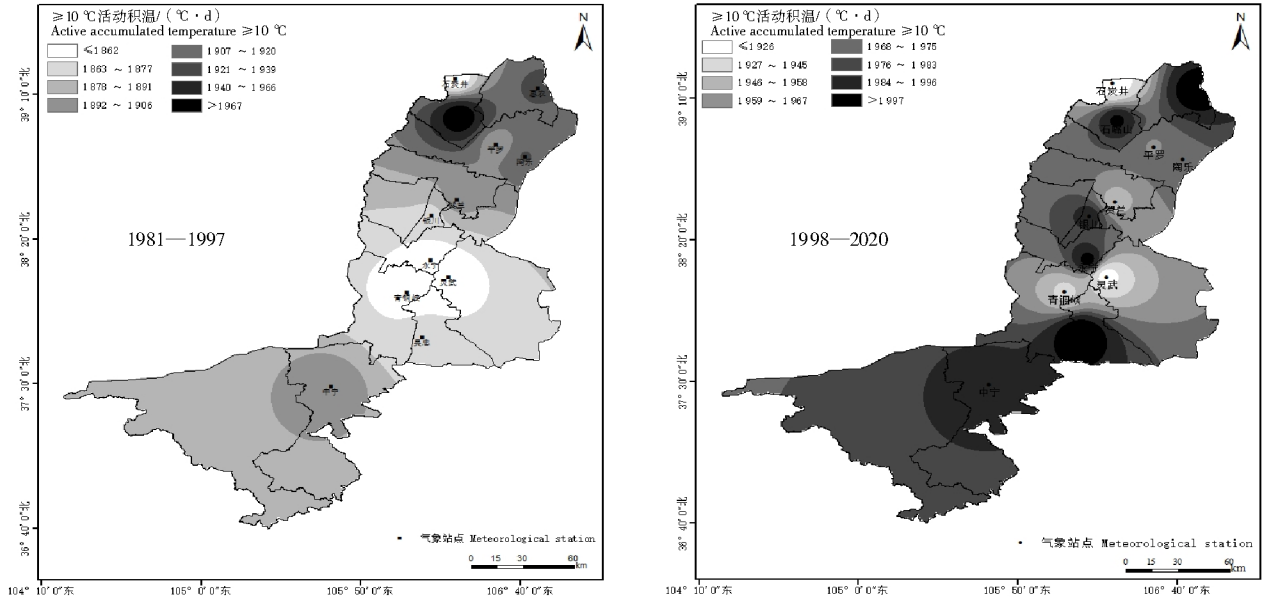


图4 1981—1997、1998—2020年宁夏贺兰山东麓7—9月 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温空间分布

Fig.4 Spatial distribution of active accumulated temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  from July to September in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia during 1981—1997 and 1998—2020

2.3.3 7—9月水热系数 由图5可知,1998年前,宁夏贺兰山东麓7—9月水热系数为 $0.4\sim 0.6$ ,空间分布格局表现为“北部小,中部和南部大”;1998年

后,7—9月水热系数为 $0.4\sim 0.7$ ,空间分布格局表现为“北部大,中南部小”。

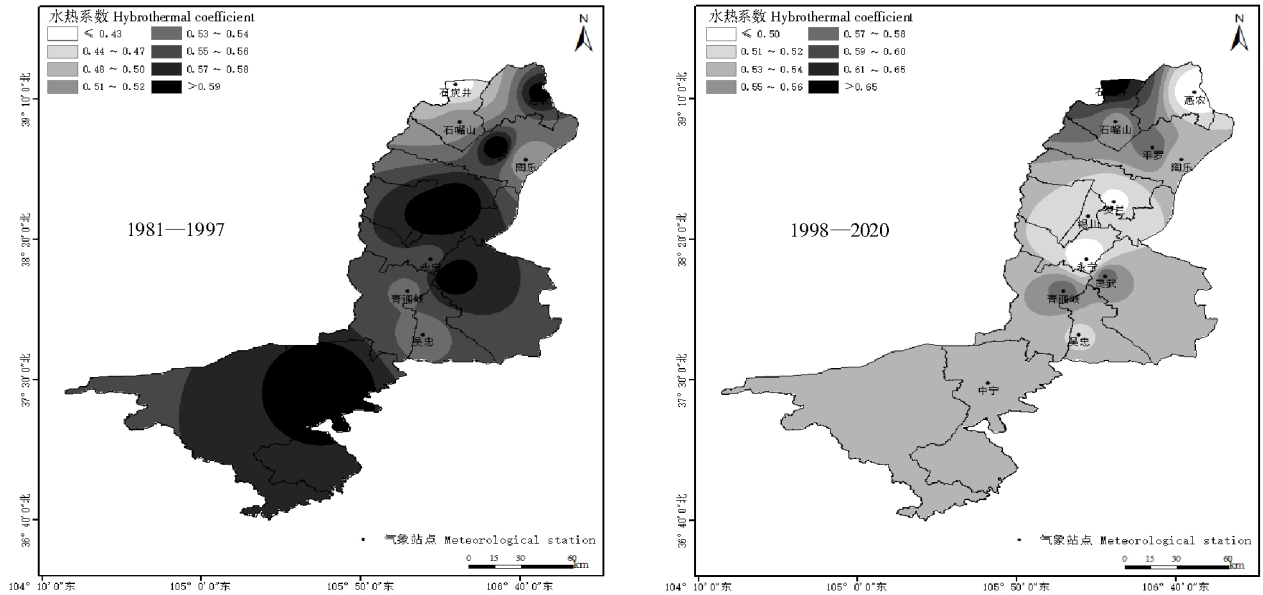


图5 1981—1997、1998—2020年宁夏贺兰山东麓7—9月水热系数空间分布

Fig.5 Spatial distribution of hydrothermal coefficient from July to September in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia during 1981—1997 and 1998—2020

## 2.4 突变前后酿酒葡萄气候区划的变化

应用 ArcGIS 10.6 软件以无霜期作为热量指标,7—9月水热系数作为水分指标,7—9月 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温作为辅助指标,应用混合插值法将宁夏贺兰山东麓气候突变前 1981—1997 年和突变后

1998—2020 年的适宜栽培区划分为最优区、适宜区、次适宜区和不宜区(图 6)。1998 年前后宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄气候区划面积变化情况如表 3 所示。

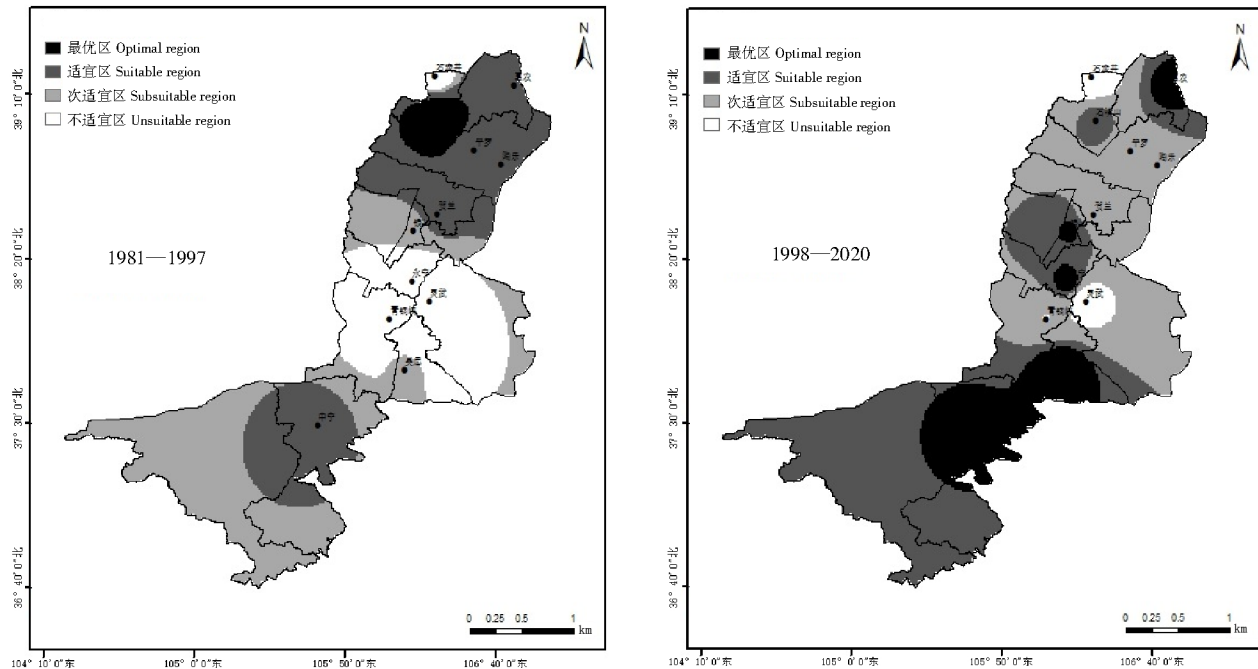


图 6 1981—1997、1998—2020 年宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生态种植气候区划

Fig.6 Climatic regionalization of wine grape ecological planting in the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia during 1981—1997 and 1998—2020

表 3 1998 年前后宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄气候区划面积变化统计

Tab.3 Statistical changes in climatic regionalization area of wine grapes it the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia before and after 1998

分区 Regionalization	1981—1997		1998—2020		1998年后变化面积 Area changed since 1998	
	面积/m <sup>2</sup> Area	占总面积的比例/% Percentage of total area	面积/m <sup>2</sup> Area	占总面积的比例/% Percentage of total area	面积/m <sup>2</sup> Area	占总面积的比例/% Percentage of total area
最优区 Optimal region	87.66	3.8	398.37	17.1	310.71	13.3
适宜区 Suitable region	782.57	33.6	1 002.63	43.1	220.06	9.4
次适宜区 Subsuitable region	874.19	37.5	855.83	36.7	-18.36	-0.8
不宜区 Unsuitable region	584.52	25.1	72.11	3.1	-512.41	-22.0
合计 Total	2 328.945	100	2 328.945	100	0	0

图 6 中白色区域为宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄不宜种植区,可以看出,1981—1997 年期间石嘴山的石炭井、银川的永宁、灵武以及吴忠、青铜峡等地为酿酒葡萄不宜种植区,面积为 584.52 m<sup>2</sup>,占总面积的 25.1%(表 3);气候突变之后,即 1998—2020 年,不宜种植区只有石炭井和灵武西部少

部分地区,面积大幅缩减,共减少 512.4 m<sup>2</sup>,减少面积占总面积的 22.0%。综合分析宁夏贺兰山东麓气候变化特征可以得出,酿酒葡萄不宜种植区面积大幅缩减,主要受无霜期延长,180~200 d 的区域扩大影响。次适宜区空间分布变化较大,面积变化较小,1998 年前,次适宜区主要分布于银川南

部和吴忠、中卫西南地区;1998年后,次适宜种植区主要分布在石嘴山中部和南部、银川北部和南部、吴忠北部,面积减少了18.36 m<sup>2</sup>。1998年前,适宜区主要分布于石嘴山大部和银川北部、中卫中部地区,面积为782.57 m<sup>2</sup>;1998年后,适宜区空间变化较大,主要分布在惠农中东部、大武口中中部、银川中部和中卫西部、南部地区,面积增加到1 002.63 m<sup>2</sup>,占总面积的43.1%。1998年前,最优区主要分布于石嘴山中部偏西地区,面积只有87.66 m<sup>2</sup>;1998年后,最优区分布于惠农北部、银川中部、吴忠南部、中卫中部地区,面积增加到398.37 m<sup>2</sup>,增加了310.71 m<sup>2</sup>,增加面积占总面积的13.3%。

### 3 结论与讨论

宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄栽培区的热量条件因气候变暖已由原来的凉爽区演变为温热区<sup>[22]</sup>,本研究对1981—2020年酿酒葡萄生育期气候因子的变化特征分析结果表明,近40 a宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄种植区无霜期呈显著上升趋势,气候倾向率为4.64 d/10 a,7—9月 $\geq 10$  °C活动积温以31.52(°C·d)/10 a的增幅呈显著上升趋势,气候热量变化显著。各气候要素突变分析表明,无霜期和7—9月 $\geq 10$  °C活动积温均在1998年之后显著上升。王静等<sup>[23]</sup>对贺兰山东麓银川地区酿酒葡萄农业气候资源的研究也表明,1961—2015年 $\geq 10$  °C活动积温显著增加,且在1995年后明显增加,而霜冻日数呈极显著的降低趋势,这与本试验的研究结论一致。同时,MOZELL等<sup>[24]</sup>的研究表明,气候变暖导致世界优质酿酒葡萄栽培区发生空间变化,可能导致高纬度区域变得更适宜葡萄生长和葡萄酒生产。本研究结果也显示,在空间分布上,1998年后宁夏贺兰山东麓180~200 d的区域扩大,整个石嘴山以南的地区无霜期均在180 d以上,7—9月 $\geq 10$  °C活动积温均在1 900 °C·d以上,热量条件变化明显。因此,有必要对气候变暖背景下宁夏贺兰山东麓葡萄种植的气候适宜区进行分析。

本研究的气候区划结果表明,受气候突变影响,宁夏贺兰山东麓无霜期延长,180~200 d的区域扩大,水热条件明显改善,1998年后宁夏贺兰山东麓97%以上的面积为酿酒葡萄生态种植气候适宜区,其中,1998年后不适宜种植区面积大幅缩

减,次适宜种植区主要分布在石嘴山中部和南部、银川北部和南部、吴忠北部,适宜种植区主要分布在惠农中东部、大武口中中部、银川中部和中卫西部、南部地区,最优种植区分布于惠农北部、银川中部、吴忠南部、中卫中部地区。研究结论与王银川等<sup>[25]</sup>对宁夏贺兰山东麓葡萄气候区划与产地选择的结果一致,张晓煜等<sup>[15]</sup>对宁夏酿酒葡萄种植区划结果也表明,酿酒葡萄种植特优区分布在包括贺兰山东麓在内的宁夏灌区周边风沙土区域,优质区主要集中在宁夏平原、贺兰山东麓、清水河流域等。

本研究表明,宁夏贺兰山东麓现有酿酒葡萄产区都在适宜栽培区范围内,符合长期科学可持续发展。但宁夏贺兰山东麓的各项气候要素仍处于不断变化中,有必要对各个产区的气象要素进行进一步持续监测与分析,应注重葡萄生长季水热指标的变化,必要时可通过科技投入有效降低天气气候变化对酿酒葡萄品质、产量的影响,为宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄栽培与管理提供理论基础与科学指导。

#### 参考文献:

- [1] 刘松涛,李茜,吕雯,等.中国葡萄酒产业现状及发展趋势:以宁夏贺兰山东麓产区为例[J].现代农业科技,2019(9):241-243.
- [2] LIU S T, LI Q, LÜ W, et al. Present situation and development trend of Chinese wine industry: a case study of producing area at eastern foot of Helan Mountain in Ningxia[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(9): 241-243.
- [3] 冯蕊,张晓煜,李芳红,等.贺兰山东麓酿酒葡萄品质成分对气象因子的响应特征[J].西北植物学报,2022,42(8):1363-1372.
- [4] FENG R, ZHANG X Y, LI F H, et al. Response of quality components of wine grape in the eastern foothills of Helan Mountain to meteorological factors[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2022, 42(8): 1363-1372.
- [5] 李菲菲,汤军,高贤君,等.基于GEE的气候变化对豫北地区冬小麦播种面积与产量影响研究[J].河南农业科学,2022,51(8):150-165.
- [6] LI F F, TANG J, GAO X J, et al. Analysis of climate change effects on winter wheat sowing area and yield in northern Henan based on GEE[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(8): 150-165.
- [7] 张玉翠,袁良,王培,等.气候变暖背景下湖北省油菜生长季气候适宜性分析[J].河南农业科学,2024,53(5):80-91.
- [8] ZHANG Y C, YUAN L, WNAG P, et al. Analysis on the climate suitability of rape growing season in Hubei province under climate warming[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2024, 53(5): 80-91.

- [5] 郭鑫杰,刘帅,张新宇,等.气候因子与高粱农艺性状及籽粒品质的关联性分析[J].山西农业科学,2025,53(3):83-90.  
GUO X J, LIU S, ZHANG X Y, et al. Correlation analysis between climatic factors and agronomic traits and grain quality of sorghum[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(3):83-90.
- [6] BONADA M, JEFFERY D W, PETRIE P R, et al. Impact of elevated temperature and water deficit on the chemical and sensory profiles of Barossa Shiraz grapes and wines[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2015, 21(2):240-253.
- [7] MIRA DE ORDUÑA R. Climate change associated effects on grape and wine quality and production[J]. Food Research International, 2010, 43(7):1844-1855.
- [8] SONG J Q, SMART R, WANG H, et al. Effect of grape bunch sunlight exposure and UV radiation on phenolics and volatile composition of *Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir wine[J]. Food Chemistry, 2015, 173:424-431.
- [9] 李华,兰玉芳,王华.中国酿酒葡萄气候区划指标体系[J].科技导报,2011,29(1):75-79.  
LI H, LAN Y F, WANG H. Index system of viticultural climatic zoning in China[J]. Science & Technology Review, 2011, 29(1):75-79.
- [10] 李华,火兴三.中国酿酒葡萄气候区划的水分指标[J].生态学杂志,2006,25(9):1124-1128.  
LI H, HUO X S. Atmospheric moisture content index in climatic zoning of grapevine cultivation in China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(9):1124-1128.
- [11] 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),2006,34(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, 34(12):69-73.
- [12] 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.
- [13] 王蕾.基于数字高程模型的中国酿酒葡萄气候区划及品种区域化研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.  
WANG L. Climatic zoning and variety regionalization of wine grape in China based on DEM[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017.
- [14] 王华,王兰改,宋华红,等.宁夏回族自治区酿酒葡萄气候区划[J].科技导报,2010,28(20):21-24.  
WANG H, WANG L G, SONG H H, et al. Climatic zoning of grapevine in Ningxia Hui autonomous region[J]. Science & Technology Review, 2010, 28(20):21-24.
- [15] 张晓煜,韩颖娟,张磊,等.基于GIS的宁夏酿酒葡萄种植区划[J].农业工程学报,2007,23(10):275-278.  
ZHANG X Y, HAN Y J, ZHANG L, et al. Planting regionalization of wine grape in Ningxia using GIS[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(10):275-278.
- [16] 李红英,张晓煜,王静,等.宁夏不同熟性酿酒葡萄生态适宜性区划[J].生态学杂志,2014,33(11):3120-3126.  
LI H Y, ZHANG X Y, WANG J, et al. Ecological suitability regionalization of wine grape with different ripening dates in Ningxia[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(11):3120-3126.
- [17] 王珊,魏彦锋,赵艳侠,等.酿酒葡萄气候区划指标研究方法及其应用现状[J].中外葡萄与葡萄酒,2018(1):55-59.  
WANG S, WEI Y F, ZHAO Y X, et al. Research methods and application status of wine grape climatic zoning index[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2018(1):55-59.
- [18] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].2版.北京:气象出版社,2007:40-67.  
WEI F Y. Modern climate statistical diagnosis and prediction technology[M]. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press, 2007:40-67.
- [19] 李华,王艳君,孟军,等.气候变化对中国酿酒葡萄气候区划的影响[J].园艺学报,2009,36(3):313-320.  
LI H, WANG Y J, MENG J, et al. The effect of climate change on the climatic zoning for wine grapes in China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(3):313-320.
- [20] 罗国光,吴晓云,冷平.华北酿酒葡萄气候区划指标的筛选与气候分区[J].园艺学报,2001,28(6):487-496.  
LUO G G, WU X Y, LENG P. Study on climatic zoning for wine-grape growing in Huabei regions[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(6):487-496.
- [21] 宫磊,王福成,吴新颖,等.蓬莱产区气候条件分析及其酿酒葡萄适应性评价[J].中外葡萄与葡萄酒,2017(5):37-41.  
GONG L, WANG F C, WU X Y, et al. Evaluation of climatic conditions in Penglai area and its effect on wine grape[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2017(5):37-41.
- [22] 李玉鼎,张光弟,李欣,等.气候变化对贺兰山东麓酿酒葡萄的影响及应对措施[J].中外葡萄与葡萄酒,2019(1):38-40.  
LI Y D, ZHANG G D, LI X, et al. Effects of climate change on wine grape in Helan mountain east and its countermeasures [J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2019(1):38-40.
- [23] 王静,张晓煜,李红英,等.贺兰山东麓银川地区酿酒葡萄农业气候资源对气候变化的响应[J].中国农业资源与区划,2017,38(9):122-129.  
WANG J, ZHANG X Y, LI H Y, et al. Response of agricultural climate resources to climate change in wine grape production area of Yinchuan in the east of Helan mountain[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(9):122-129.
- [24] MOZELL M R, THACH L. The impact of climate change on the global wine industry: challenges & solutions[J]. Wine Economics and Policy, 2014, 3(2):81-89.
- [25] 王银川,汪泽鹏.宁夏贺兰山东麓葡萄气候及品种区划与产地选择[J].宁夏农林科技,2000,41(2):24-26.  
WANG Y C, WANG Z P. Climate, variety regionalization and origin selection of grape in the east foot of Helan Mountain in Ningxia[J]. Ningxia Journal Agriculture and Forestry Science and Technology, 2000, 41(2):24-26.