中国葡萄气候区划Ⅱ：酿酒葡萄品种区域化

王蕾¹, 李华^{2,3*}, 王华^{2,3*}

1. 西北农林科技大学食品学院, 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学葡萄酒学院, 杨凌 712100;

3. 陕西省葡萄与葡萄酒工程技术研究中心, 杨凌 712100

* 联系人, E-mail: lihuawine@nwsuaf.edu.cn; wanghua@nwsuaf.edu.cn

2017-03-04 收稿, 2017-04-08 修回, 2017-04-10 接受, 2017-04-26 网络版发表

国家科技支撑计划(2012BAD31B07)资助

摘要 葡萄酒的品质主要取决于葡萄(*Vitis vinifera* L.)品种, 而一定的品种只有在与之相适应的生态条件下种植才能发挥其潜力. 本研究以中国2294个气象站点1982~2011年30年平均气象数据和中国全境90 m分辨率数字高程模型数据为基础, 在ArcGIS平台支持下, 建立了无霜期和活动积温的多元逐步回归模型. 并分别以普通克里金法和反距离权重法对无霜期和活动积温空间回归残差进行插值, 将模拟值栅格图层和残差值栅格图层叠加, 分别得到无霜期、活动积温栅格图层; 以普通克里金法对干燥度进行空间内插得到干燥度栅格图层. 在此基础上绘制了高精度的中国酿酒葡萄气候区划图和品种区域化图, 将酿酒葡萄适宜栽培划分为4区12亚区, 对各亚区气候特点和分布范围进行了描述, 并根据不同熟性葡萄品种对活动积温需求的不同对各亚区进一步划分, 分别绘制了12亚区的酿酒葡萄品种区域化图. 研究结果显示, 中国酿酒葡萄栽培区类型多样, 在不考虑土壤等其他因素的情况下, 中国酿酒葡萄适宜区类型多达36种. 本研究结果具有高分辨率, 对不同葡萄产区的栽培品种建议更有针对性, 对全国各地葡萄种植品种的选择及相关产业发展有着重要的指导意义.

关键词 葡萄, 品种区域化, 活动积温, 空间推算, GIS

葡萄品种是葡萄酒质量的主要决定因素之一, 只有好的葡萄品种才能酿造出风味独特的葡萄酒, 而一定的葡萄品种只有在最适宜的气候条件下才能发挥其品种潜力. 随着人们对葡萄与葡萄酒品质要求的提高, 对葡萄品种区域化的精度要求也越来越高. 国外气候区划指标大致有: 纬度-温度指数(latitude-temperature index, LTI)、光热指数(index of Huglin, IH)、夜间冷凉指数(cool night index, CI)等, 大多适用于地中海式气候(副热带夏干气候), 并不适合大陆性、季风性气候显著且气候类型多样的中国. 中国独有的这种气候特点是由海陆分布、大气环流、所处纬度以及陆地状况等因素共同决定的, 其特点为: 冬冷

夏热, 冬干夏湿, 这种“雨热同季”的气候特点与国外主要葡萄产区夏季干旱的气候类型有很大差异.

近年来, 针对有关中国葡萄品种区划的研究很多^[1~8], 但限于气象数据、地形数据等资料获取难度较大, 数据处理困难, 采用气象站点普遍较少, 往往只有几百个. 西部地区地形复杂, 气象站点稀疏, 更容易造成较大误差, 区划精度普遍不足. 李华和火兴三^[5,6]根据全国600多个气象站点数据, 分析了中国气候特点, 建立了中国葡萄气候区划指标体系, 经检验认为该指标体系基本符合中国实际, 但是使用内插法作图, 忽略了地形对气象要素的影响, 使得区划结果平面化, 区划精度较低, 尤其在西部地区与实际有

引用格式: 王蕾, 李华, 王华. 中国葡萄气候区划Ⅱ: 酿酒葡萄品种区域化. 科学通报, 2017, 62: 1539–1554

Wang L, Li H, Wang H. Climatic regionalization of grape in China II: Wine grape varieties regionalization (in Chinese). Chin Sci Bull, 2017, 62: 1539–1554, doi: 10.1360/N972017-00249

较大差异. 李红英等人^[7,8]、张晓煜等人^[9]根据中国北方300多个气象站点数据建立了气候要素模型, 使用小网格推算法对不同葡萄品种适宜区进行了一系列研究, 指出了适宜、非适宜区域. 该研究大大提高了气象要素的模拟精度, 对于指导北方特定品种种植有较高的参考价值. 但由于研究仅针对中国北方的个别优势品种, 缺乏对各区域具体气候特点的分析, 对研究品种之外的葡萄品种参考价值有限.

本研究根据中国2294个气象站点连续30年的数据, 在中国葡萄气候区划的基础上, 进一步绘制中国酿酒葡萄气候区划图, 并将酿酒葡萄适宜栽培区划分为12个不同气候类型的亚区. 对这12个亚区分别进行酿酒葡萄品种区域化, 以不同熟性葡萄对活动积温的需求范围为指标, 绘制了12幅针对每个亚区的酿酒葡萄品种区域化图, 将12个亚区进一步细分为36个不同类型的小产区, 并对每个亚区进行了适宜栽培品种的推荐以及不同亚区引种时的注意事项. 中国有潜力成为世界最多样化的葡萄酒生产国. 与以往研究相比, 此次区划结果的精确度和准确度以及制图的分辨率均有极大提高, 对全国酿酒葡萄适宜栽培区进行了更加细致精确的分类, 绝大部分地区引种时可直接参考区划结果, 这对中国各产区未来葡萄种植及产业发展有着重要的指导意义.

1 资料与方法

1.1 数据来源与处理

本研究的基础气象数据为国家气候中心提供的全国2480个气象站点连续30年(1982~2011年)地面气象要素的日值, 包括各站点的经纬度、海拔高度(m)、日最高气温(℃)、日最低气温(℃)、日平均气温(℃)、日降水量(mm)、日平均风速(m s^{-1}), 日平均相对湿度(%)和日照时数(h)等. 编写数据处理程序, 对数据进行筛选和处理, 剔除时间序列缺失超过5年的站点, 剔除数据连续缺失>10 d气象站点数据、月份序列缺失4~9月任意一月的年份, 最终得到2294个气象站点数据. 对于数据缺失在10 d以内的站点, 用前一日与后一日的各气象要素平均值替代. 计算各站点30年平均无霜期、生长季活动积温、最热月平均温度、生长季干燥度等数据.

为了能够对研究区域的地形因子进行准确的运算, 本研究采用了中国科学院计算机网络信息中心

国际科学数据镜像站提供的中国境内90 m (3")分分辨率数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据. 利用DEM栅格数据, 在ArcGIS的表面分析模块下, 分别生成90 m分辨率的坡度、坡向栅格数据. 经纬度栅格数据由经纬度网格的ASC II码数据内插形成.

1.2 区划指标的选取

中国与同纬度其他国家相比, 夏季温度偏高, 冬季温度偏低. 在中国北方, 对于葡萄来说, 最大的限制因素不是活动积温, 而是生长期长度不足、极端低温、早晚霜冻等. 李华和火兴三^[6]发现, 无霜期(frost free period, FFP)作为中国酿酒葡萄气候区划的热量指标更适合, 将平均无霜期 ≥ 160 d, 且30年中无霜期 < 150 d的次数不超过3次作为热量指标的最低限. 不同葡萄品种从萌芽开始到果实充分成熟所需 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的活动积温是不同的, 一般将活动积温 $\geq 2500^\circ\text{C}$ 作为葡萄栽培的最低界限^[2,7,10]. 在海拔较高的地区, 如西南地区, 夏季凉爽, 无霜期长而积温不足是西南很多地方葡萄栽培的主要限制因素. 因此, 在进行酿酒葡萄区划时, 应同时考虑无霜期和活动积温两个因素. 冬季极端低温过低会造成严重冻害, 参考李红英等人^[8]的方法, 区划时应进一步将年极端低温 $< -35^\circ\text{C}$ 区域排除.

水分是区分各区葡萄种植情况的主要因素之一. 中国夏季雨热同季的特点决定了区划指标体系必须考虑水分指标, 特别是葡萄成熟期的水分收支情况. 中国传统的葡萄区划一般将水分指标作为欧亚种葡萄能否经济栽培的南界^[2,4,6]. 目前, 葡萄气候区划常用的水分指标有水热系数、水热值、成熟期降水量、生长季干燥度(dryness index, DI)等^[11]. 李华等人^[5]对以上指标进行了对比分析, 认为生长季(4~9月)干燥度可以全面衡量地区的实际水分收支情况, 更适合雨热同季的中国气候, 本研究采用生长季干燥度作为酿酒葡萄气候区划的水分指标.

1.3 研究方法

计算出2294个气象站点30年平均无霜期、生长季活动积温和生长季干燥度, 分别建立了无霜期和活动积温的多元逐步回归模型, 对其进行残差插值校正, 使用克里金法对干燥度进行空间内插, 分别得到无霜期、活动积温、干燥度栅格图层, 绘制了高精度的中国酿酒葡萄气候区划图, 将酿酒葡萄适宜栽培

区划分成4区12亚区,在气候区划的基础上分别绘制了12亚区的酿酒葡萄品种区域化图,并对各亚区不同品种栽培的优劣势进行了分析,为各地酿酒葡萄引种提供了更多参考.本研究对全国酿酒葡萄栽培区适宜品种进行了分析,所用气象站点更密集、地形数据精度更高,采用多元回归+残差校正的方法提高了气象要素模拟精度,区划精度显著提高.

进行气候区划首先要将点状分布的气象数据展绘到空间面上.中国气候类型多样,海拔高差大,西部地区气象站点稀疏,区划中应引入地理地形因子.本研究中热量指标的空间推算采用的是趋势面模拟和残差内插相结合的混合插值法^[12-15].生长季活动积温的空间分布可分别表示为

$$\sum T_a = A(\varphi, \lambda, h, \alpha, \beta, \varepsilon),$$

其中, φ , λ 分别为纬度和经度, h 为地形高程, α , β 分别为坡度的正弦和坡向的余弦^[16,17], 影响活动积温的其他因素用回归分析中的 ε 表示, 纬度、海拔高度、坡向余弦值与气温基本上是线性相关, 较低坡度下, 坡度正弦值与气温也基本上是线性相关的, 经度与气温的函数关系尚不明确. 综合考虑以上因素, 地理、地形影响下的活动积温估算模型为

$$\sum T_a = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3h + a_4\alpha + a_5\beta + \varepsilon,$$

其中, a_0 为常数项, $a_1 \sim a_5$ 是各项的系数, 估算各气象指标的水平分辨率也为3", 同地形高程的分辨率. 只考虑趋势项时, 上式可表示为

$$\sum T_a = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3h + a_4\alpha + a_5\beta.$$

以2294个站点数据为基础, 借助SPSS软件建立多元回归模型, 并对相应各指标进行分析发现, 坡向的 P 值=0.609, 未通过 T 检验, 显著性为零的概率高达60%, 且偏相关系数仅为0.011, 建模时应剔除. 坡度虽通过了 T 检验, 但建模结果却显示坡度与活动积温大小为负相关. 事实上, 中国绝大部分气象站点坡度在30°以下, 活动积温与坡度的关系在这一取值范围内应为正相关, 建模结果与实际恰好相反, 坡度与活动积温的偏相关系数仅为0.083, 而 $r(\varphi, \alpha) = -0.278$, $r(\lambda, \alpha) = -0.122$, $r(h, \alpha) = 0.217$, 由此可判断此结果是坡度与其他因子多重相关性共同作用的结果, 在建模过程中这一指标应予剔除. 生长季活动积温趋势模型可改写为

$$\sum T_a = a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3h.$$

无霜期趋势模型建立方法同上, 其中坡度、坡向

两指标均未通过 T 检验, 建模时予以剔除.

借助SPSS软件采用多元逐步回归法分别建立生长季活动积温与无霜期趋势模型:

$$\begin{aligned} \sum T_a &= 9504.764 - 62.667\varphi - 27.429\lambda - 0.9735h, \\ R &= 0.971, F = 12546.554, P < 0.000. \\ \text{FFP} &= 780.656 - 8.941\varphi - 1.814\lambda - 0.0522h, \\ \text{该模型} R &= 0.955, F = 7894.701, P < 0.000. \end{aligned}$$

利用上述预测模型和各气象站点的地理地形数据计算出该站点的生长季活动积温模拟值, 将各站点实际活动积温与模型预测值的差值作为残差值 ($\varepsilon = \sum T_{a\text{实际}} - \sum T_{a\text{预测}}$). 无霜期残差算法与此相同. 对残差值进行空间内插, 即可得到 ε 值的栅格图层.

在众多气象要素空间插值方法中, 没有普遍适用的最佳插值方法^[18], 只有特定条件下的最优方法^[19]. 采用交叉验证法验证不同内插法对各残差模拟值的绝对误差, 发现本研究中活动积温残差插值普通克里金法最适合, 无霜期残差插值使用反距离权重法误差更小.

由于我国气候的多样性和不平衡性, 干燥度相关因子模拟非常困难^[17,20,21]. 本次区划中, 直接使用内插法建立干燥度图层. 采用交叉验证法验证不同插值法的误差, 发现普通克里金法绘制干燥度栅格图层误差最小.

利用中国90 m DEM栅格数据, 在ArcGIS的表面分析模块下以栅格计算器计算出各栅格活动积温模拟值, 活动积温残差以选定内插法插值, 将模拟值栅格图层和残差值栅格图层进行叠加, 即可得到活动积温栅格图层. 无霜期栅格图层绘制方法同上. 干燥度图层以普通克里金法插值形成.

绘制中国酿酒葡萄适宜栽培区气候区划图(图1), 在其基础上, 进行酿酒葡萄品种区域化, 参考前人研究, 以不同熟性葡萄对活动积温的需求范围(2500~2700℃; 2700~3200℃; 3200~3500℃; >3500℃)为品种区域化指标(表1), 绘制酿酒葡萄适宜栽培区内的酿酒葡萄品种区域化图(图2).

2 结果与讨论

2.1 酿酒葡萄气候区划结果

将活动积温图层、无霜期图层与干燥度图层叠加, 以无霜期为酿酒葡萄气候区划的热量指标, 干燥度为水分指标, 活动积温和年极端低温为辅助指标,

图1 中国酿酒葡萄气候区划图
Figure 1 The climatic regionalization map of wine grape in China

表1 不同成熟期葡萄品种所需活动积温^[2-6,11,22]
Table 1 The active accumulated temperature demanded for different grape varieties in different mature period

类别	≥10℃的活动积温(℃)
极早熟和早熟	2500~2700
中熟	2700~3200
晚熟	3200~3500
极晚熟	>3500

进行酿酒葡萄气候区划. 其中无霜期<160 d, 或干燥度<1, 或活动积温<2500℃以及年极端低温<-35℃的地区均不适合酿酒葡萄栽培, 划为不适宜栽培区. 根据李华和火兴三^[5,6]的葡萄气候区划分方法, 将酿酒葡萄适宜栽培区划分为4区12亚区(表2), 并绘制中国酿酒气候区划图(图1). 其中160 d≤FFP≤180 d为凉温区, 认为其热量条件基本适合葡萄的生长, 但有些地区有霜冻; 180 d<FFP≤200 d和200 d<FFP≤220 d分别是中温和暖温区, 热量条件非常适宜葡萄的生长; FFP>220 d为暖热区, 热量条件满足生长所需, 但由于夏季过热, 致使葡萄品质受到影响. 1≤DI≤1.6为一般种植区; 1.6<DI≤3.5为适宜栽培区; DI>3.5时在有灌溉条件下, 可以获得良好的葡萄品质.

2.2 酿酒葡萄品种区域化结果

决定一个地区葡萄适宜种植品种的最主要因素是热量, 不同成熟期葡萄品种对热量的需求不同^[23]. 本研究参考文献[2-6,11,22]的研究成果, 给出不同熟性葡萄对活动积温的需求范围(表1). 绘制酿酒葡萄适宜栽培区葡萄品种区域化图(图2), 并在气候区划的基础上(图1), 分别绘制12个亚区酿酒葡萄品种区域化图(图3~11).

由图2可以看出, 中国大部分酿酒葡萄适宜栽培区活动积温都在3200℃以上, 可以满足晚熟甚至极晚熟葡萄品种的热量需求. 这也是我国赤霞珠栽培范围最广的原因之一. 虽然在生长季活动积温高的地区不同熟性的葡萄品种都能成熟, 但只有品种需求与产地所能提供的生长季活动积温相吻合时, 才能获得最佳的质量. 最适合种植中熟、晚熟葡萄的区域主要分布在新疆、甘肃、宁夏以及山西、陕西、内蒙古、河北、吉林及辽宁的部分地区. 如果同时考虑水分因素, 则最佳的酿酒葡萄栽培区域主要分布在天山脚下、河西走廊、宁夏中部、黄土高原中北部、山西、内蒙古, 以及河北大部分地区、山东大部分地区, 横断山脉、藏东高原谷地区也有少量分布, 这与我国优质葡萄酒产区分布一致.

图2 中国酿酒葡萄品种区域化图
Figure 2 The varieties regionalization map of wine grape in China

表2 酿酒葡萄气候区划分标准

Table 2 The division standards of wine grape climatic regionalization

气候区	160 d≤FFP≤180 d	180 d≤FFP≤200 d	200 d<FFP≤220 d	FFP>220 d
	I 凉温区	II 中温区	III 暖温区	IV 暖热区
1≤DI≤1.6	1凉温半湿润区	4中温半湿润区	7暖温半湿润区	10暖热半湿润区
1.6<DI≤3.5	2凉温半干旱区	5中温半干旱区	8暖温半干旱区	11暖热半干旱区
DI>3.5	3凉温干旱区	6中温干旱区	9暖温干旱区	12暖热干旱区

最热月平均温度对酿酒葡萄品质影响明显，生产优质干白葡萄酒的最佳气候条件为较冷凉的地区，最热月平均气温约为20℃，干红葡萄酒产区可略高，生产优质佐餐酒，香槟酒的栽培区最热月温度以不超过24℃为宜^[1,24,25]。葡萄气候区划各亚区不同熟性葡萄品种栽培区气象站最热月平均温度范围有较大差异，计算方法为：将气候区划结果12个亚区中的每个亚区以不同熟性葡萄对活动积温的需求范围(2500~2700℃；2700~3200℃；3200~3500℃；>3500℃)划分为4个小区，统计每个小区内所有站点最热月平均温度(℃)的30年平均值，得到每个小区域最热月均温的范围(表3)。由表3可以看出，12个亚区可以进一步被细分为36个小区，个别亚区在以活动积温的4个阈值划分为小区域时，并不包含所有的4个积

温范围，在表3中以“-”表示。将对同一亚区不同熟性品种栽培区的特点及推荐品种分别进行讨论。

结合酿酒葡萄各栽培区分区结果与品种区域化结果对不同区域特点进行分析，各栽培区位置以丁一汇^[26]的中国气候区划的各气候区范围描述。

(i) 凉温区。凉温区无霜期长度在160~180 d，大部分地方热量基本能满足早、中熟品种需求，部分地方可种植晚熟甚至极晚熟品种，制约葡萄生长的主要因素是早晚霜冻和冬季低温。本区春秋温度变化很快，在葡萄出土和埋土时，应注意掌握时间，不能过早也不能过晚；东北、新疆北部冬季气温极低，在秋季应注意埋土的深度，以使葡萄安全越冬。

凉温半湿润区(1区)分布在三江平原及其以南山地区、松辽平原区、西辽河平原区、燕山山地区、黄

表 3 各气候亚区不同熟性葡萄品种适宜区站点最热月平均温度(°C)

Table 3 The average temperature of the hottest month of different grape varieties for different area (°C)

亚区	早熟区	中熟区	晚熟区	极晚熟区
1	(16.7±0.86)~(20.0±1.07)	(20.0±1.20)~(23.5±1.31)	(22.7±1.29)~(24.4±1.27)	24.5±1.23
2	(19.0±1.01)~(19.6±1.12)	(19.4±0.99)~(23.9±1.39)	(23.0±1.39)~(24.2±1.21)	24.4±1.26
3	19.8±1.25	(20.9±1.08)~(23.3±1.27)	(23.0±1.20)~(25.0±1.29)	(24.8±1.28)~(28.1±1.45)
4	(18.6±0.91)~(19.3±1.09)	(20.3±1.04)~(22.3±1.19)	(22.2±1.13)~(24.6±1.39)	(24.2±1.25)~(25.8±1.31)
5	19.1±0.98	(19.4±1.00)~(22.7±1.12)	(21.6±1.11)~(24.4±1.26)	(24.2±1.21)~(25.1±1.29)
6	—	(20.4±1.05)~(22.3±1.16)	(21.9±1.19)~(24.6±1.45)	(23.9±1.27)~(29.7±1.65)
7	—	(17.7±0.89)~(21.9±1.03)	(22.7±1.22)~(24.7±1.47)	(23.9±1.41)~(27.0±1.39)
8	—	(19.3±1.02)~(21.8±1.13)	23.1±1.28	(24.5±1.26)~(27.0±1.32)
9	—	—	22.1±1.10	(23.8±1.33)~(29.4±1.59)
10	—	(19.8±1.09)~(22.3±1.26)	(19.7±1.01)~(24.2±1.27)	(21.8±1.13)~(29.5±1.53)
11	—	—	—	(21.7±1.10)~(27.5±1.42)
12	—	—	—	(24.5±1.27)~(33.1±1.70)

土高原东部太行山地区、汾渭平原山地区、黄土高原西部区、黄土高原南部区. 1区早熟品种适宜区仅在平凉、固原、天水等市的山地边缘有少量分布; 中熟品种适宜区主要分布在鸡西市中部、佳木斯市、长春市南部、四平市北部、营口市东部、阳泉市西部、晋中市南部和北部、长治市、临汾市东部、吕梁市南部、延安市中部、庆阳市东北部、宝鸡市东北部等地; 晚熟品种适宜区主要在四平市南部、铁岭市西部、通辽市东部、沈阳市北部、阜新市东部和北部、朝阳市东南部、承德市南部; 极晚熟区仅有辽宁羊山一个站点(图3). 本区生长期降水偏多, 病害高发, 应该注意选择抗病抗寒的品种.

凉温半干旱区(2区)分布在松辽平原区、西辽河平原区、华北平原与鲁中山东山地区、鄂尔多斯与东河套区、黄土高原东部太行山地区、黄土高原西部区. 2区极晚熟区仅山西汾阳一个站点, 晚熟品种适宜区主要分布在白城南部分、通辽、阜新西北、赤峰东部、朝阳市北部、张家口市附近、忻州市中部、包头南部、榆林中部、昌吉东部; 中熟品种适宜区主要分布在大庆市西南部、齐齐哈尔南部、白城中部和东部、松原西部、张家口南部、朔州东部、鄂尔多斯东部、榆林北部、吴忠东南部、庆阳西北部、伊犁州中部; 早熟区在武威、兰州、白银、中卫、固原等市的山地区有少量分布(图4). 2区干燥度适中, 适合生产优质葡萄, 但早晚霜频发、极端低温过低, 必须做好冷害防控.

凉温干旱区(3区)分布在西河套与内蒙古高原西部区、阿拉善与河西走廊区、天山山地区、伊犁谷地区、塔城盆地区、准葛尔盆地区、塔里木与东疆盆地区(图4). 3区早熟品种适宜区分布很少; 中熟区主要分布在鄂尔多斯西南部、银川东南部、吴忠中部、阿拉善盟东南部、白银西北部、武威中部、金昌东部、张掖中西部、酒泉中东部、昌吉东部、阿克苏北部、克孜勒苏柯尔克孜东部、和田中部; 晚熟区主要分布在巴彦淖尔西北部和南部、鄂尔多斯西北部、石嘴山东部、银川中东部、中卫北部、阿拉善南部、武威北部、酒泉中东部、哈密北部和东南部、阿勒泰西南、塔城中部、巴音郭楞中部; 极晚熟区主要分布在吐鲁番地区和阿拉善盟中部的沙漠中(图5), 极晚熟区出现的原因与沙漠中午的高温有关. 3区非常干燥, 病害程度很轻, 此区若有灌溉条件, 可以生产品质优良的酿酒葡萄, 灌溉条件不足则葡萄无法正常生长. 3区极晚熟区热量充足, 但冷害频发, 发展葡萄酒产业需慎重.

凉温区各亚区(1~3区)可以栽培与品种区域化结果(图3~5)匹配的早、中、晚熟葡萄品种. 对于极晚熟品种来说, 由于本区无霜期相对较短, 冻害易发, 且本区极晚熟品种适宜区大多处于沙漠地带, 夏季高温, 最热月均温往往在25℃以上, 葡萄成熟过快, 糖酸比过高, 香气、酚类物质积累较少, 种植鲜食葡萄会有较好的品质, 但酿酒葡萄则品质一般; 晚熟品种适宜区也存在类似问题, 但程度相对较轻, 做好葡萄

图3 1区酿酒葡萄品种区域化图

Figure 3 The varieties regionalization map of wine grape in Region 1 in China

图4 2区酿酒葡萄品种区域化图

Figure 4 The varieties regionalization map of wine grape in Region 2 in China

图5 3区酿酒葡萄品种区域化图

Figure 5 The varieties regionalization map of wine grape in Region 3 in China

园管理也可以生产出优质酿酒葡萄；中熟品种适宜区是凉温区内热量和生长时长匹配最好的区域，最热月平均温度一般在20~24℃（表3），酿酒葡萄成熟相对缓慢，糖酸比适中，酚类物质、香气物质积累充足，是优质酿酒葡萄产区。由于积温增值效应，3区境内的部分中熟品种区种植晚熟葡萄品种也能完全成熟并取得较好的质量。3区的热量和水分条件均优于1, 2区，在3个区域中，3区是最适宜酿酒葡萄栽培区。凉温区(1~3区)中制约酿酒葡萄生长的主要因素是冬季低温和霜冻，所以选用适宜的砧木、合理的选择葡萄园址是决定葡萄园经济效益的关键因素。在春季出土时，应该掌握适宜的出土时间，不能过早也不能过晚；在秋季应注意埋土的深度，以使葡萄安全越冬。本区推荐栽培早、中熟品种，如米勒、白比诺、灰比诺、琼瑶浆、霞多丽、雷司令、缩味浓、黑比诺、增芳德、法国兰等，适宜发展的酒种为起泡酒、佐餐酒。

(ii) 中温区。中温半湿润区(4区)分布在松辽平原区、辽东低山丘陵区、燕山山地区、黄土高原东部太行山地区、汾渭平原山地区、黄土高原西部区、黄土高原南部区、横断山脉东南部高原温带湿润区。4区以中熟、晚熟品种适宜区为主。中熟品种适宜区主要分布在水中部、陇南北部、平凉东部、庆阳南部、宝鸡北部、咸阳西北部、延安西南部、渭南南部、商洛北部、西安南部、晋城东部等地；晚熟品种适宜区主要分布在延安东部、临汾西部、长治中部、晋冀以及京冀西部交界一线、秦皇岛北部、葫芦岛北部、锦州东部、沈阳、营口中、部、大连北部；极晚熟品种适宜区主要分布在辽东湾附近(图6)。本区热量适宜，中、晚熟品种在相应的适宜区能有好的表现，但病害较多，对葡萄园管理有较高要求。

中温半干旱区(5区)分布在大兴安岭中部区、内蒙古高原东部区、黄土高原东部太行山地区、鄂尔多斯与东河套区、汾渭平原山地区、黄土高原西部区、

图6 4区酿酒葡萄品种区域化图

Figure 6 The varieties regionalization map of wine grape in Region 4 in China

青南高原高原亚寒带半干旱区、藏南高山谷地高原温带半干旱区、天山山地区、伊犁谷地区。5区分布面积较小，以中、晚熟品种适宜区为主。早熟品种适宜区主要分布在伊犁东部、兰州中部、白银中西部、庆阳西北部、天水西北部；晚熟区主要在榆林、吕梁两市交界处，在通辽、张家口、忻州、太原、晋中、临汾、运城、伊犁等地也有少量分布；极晚熟区主要分布在晋中与太原吕梁交界处(图7)。5区是各亚区中光、热、水匹配最好的亚区之一，冻害少发，病害较轻，酿酒葡萄容易取得较好的品质。

中温干旱区(6区)分布在鄂尔多斯与东河套区、西河套与内蒙古高原西部区、黄土高原西部区、阿拉善与河西走廊区、柴达木盆地与昆仑山北翼高原温带干旱区、伊犁谷地区、准噶尔盆地区、塔里木盆地与东疆盆地区、天山山地区(图8)。6区主要以极晚熟品

种适宜区为主，晚熟、中熟区亦有一定分布。中熟区主要在白银北部、和田西部、克孜勒苏西部；晚熟区主要分布在石嘴山南部、银川中西部、吴忠北部、中卫东北部、阿拉善东南部、和田中部、克孜勒苏东部、阿克苏中部、伊犁西部等地；极晚熟区分布在乌海西北部、阿拉善北部、酒泉西部、巴音郭楞、哈密、吐鲁番、昌吉、塔城、克拉玛依、博尔塔拉、伊犁西部、和田东部。本区光热条件极好，但水分亏缺严重，且部分分布在沙漠之中，是否能进行葡萄生产必须结合实地土壤和灌溉条件判断，在土壤适合、灌溉条件较好的区域可以取得良好的葡萄品质。

中温区(4~6区)热量条件能满足葡萄的生长所需，部分地区可能有霜冻，适宜栽培早、中、晚熟和极晚熟品种。中温区内中熟品种适宜区最热月均温一般在20~22℃，晚熟品种适宜区最热月均温一般在

图7 5区酿酒葡萄品种区域化图

Figure 7 The varieties regionalization map of wine grape in Region 5 in China

图8 6区酿酒葡萄品种区域化图

Figure 8 The varieties regionalization map of wine grape in Region 6 in China

21~24℃ (表3), 酿酒葡萄成熟期温度适中, 葡萄成熟相对缓慢, 糖酸比适中, 酚类物质、香气物质积累充足, 是优质酿酒葡萄产区; 极晚熟区夏季气温过高, 更适合种植鲜食品种. 6区日照强烈, 积温增值明显, 有利于糖分积累, 种植酿酒葡萄应该注意选择具有高酸潜力的品种. 6区内的极晚熟品种适宜区由于所产葡萄糖分极高, 空气极干燥, 更适合葡萄干生产. 中温区(4~6区)适宜栽培品种有赛美蓉、意斯林、白玉霓、龙眼、歌海娜、西拉、梅尔诺、赤霞珠、品丽珠等. 适宜生产的酒种有佐餐酒、白兰地. 由于4区较为湿润, 5、6区的热量和水分条件均优于4区, 在3个区域中, 5、6区更适宜酿酒葡萄栽培.

(iii) 暖温、暖热区. 暖温半湿润区(7区)分布在燕山山地区、辽东低山丘陵区、华北平原与鲁中中山地区、黄土高原东部太行山地区、汾渭平原山地区、黄土高原西部区、黄土高原南部区、横断山脉中北部

高原温带半湿润区. 7区早熟品种适宜区主要分布在川藏滇三省交界附近、陇南中部、天水中部、庆阳东南部、铜川西部和宝鸡西北部; 晚熟品种适宜区主要分布在大连、烟台、晋城、商洛、铜川、咸阳、宝鸡、天水等地; 极晚熟品种适宜区主要分布在河北、山东、山西南部、河南西北部和关中地区(图9). 本区热量完全可以满足葡萄生长需求, 冷害较少, 生长季降水较多, 病害多发, 葡萄园管理应注意通风、透光、排水. 7区葡萄生长期长, 早、中、晚熟品种适宜区成熟期温度适宜, 能满足相应葡萄品种成熟对热量的需求但不过热. 7区葡萄成熟期也较长, 果实糖酸比适中, 酚类及香气物质积累较多, 十分适合生产酿酒葡萄, 此区推荐栽培品种有增芳德、晚红密、小白玫瑰、赛美蓉、意斯林、白玉霓、歌海娜、西拉、梅尔诺、赤霞珠、品丽珠、佳利酿、龙眼、宝石等, 适宜生产的酒种: 佐餐酒、甜葡萄酒. 极晚熟品种适宜区

图9 7区酿酒葡萄品种区域化图

Figure 9 The varieties regionalization map of wine grape in Region 7 in China

内热量充足,可满足各种熟性葡萄对热量的需求,但成熟期温度过高,果实成熟很快,相对于中晚熟区而言,更适合种植鲜食葡萄.在暖温区(7~9区)中,与8、9区的水分条件相比,7区中限制酿酒葡萄品质的主要因素是葡萄成熟期的降水,所以一般选择中、晚熟品种,以避免7、8月大量的降水,提高酿酒葡萄的品质.

暖热半湿润区(10区)分布在辽东低山丘陵区、燕山山地区、华北平原与鲁中中山地区、黄土高原东部太行山地区、大别山与苏北平原区、黄土高原南部区、秦巴山地区、横断山脉中北部高原温带半湿润区、滇西山地区滇中高原区、滇西南山地区(图10).10区早、中、晚熟品种适宜区主要分布在中国西南的陇南、阿坝、甘孜、昌都、林芝、迪庆、大理等地,在大连南部、威海北部、烟台、咸阳也有少量分布;关中地区、南阳盆地、河南北部、河北、天津、山东其他地区都属于极晚熟品种适宜区.本区热量充足,但降水较多,生产过程中应注意病害防治.10区葡萄生长期很长,早、中、晚熟品种适宜区夏季相对冷凉,成熟期温度

适中,葡萄成熟期长,有利于果实中酚类及香气物质积累,糖酸比适中,如管理得当,可生产出品质卓越的酿酒葡萄与葡萄酒;极晚熟区夏季气温较高,适合种植极晚熟酿酒葡萄品种或鲜食葡萄,推荐种植的品种有赛美蓉、赤霞珠、品丽珠、梅尔诺、歌海娜、意斯林、佳利酿、晚红密、西拉、白玉霓、宝石、红鸡心、龙眼.适宜发展的酒种为佐餐酒、浓甜葡萄酒.在暖热区(10~12区)中,10区的水分条件优于11、12区,后两者过于干旱,在有良好灌溉条件的基础上可以生产优质的葡萄.

暖温半干旱区(8区)分布在华北平原与鲁中中山地区、黄土高原东部太行山地区、汾渭平原山地区、黄土高原西部区、黄土高原南部区、横断山脉中北部高原温带湿润区;暖温干旱区(9区)分布在准格尔盆地区、塔里木与东疆盆地区、天山山地区;暖热半干旱区(11区)分布在华北平原与鲁中中山地区、汾渭平原山地区、三江平原及其以南山地区、横断山脉东南部高原温带湿润区;暖热干旱区(12区)分布在

图10 10区酿酒葡萄品种区域化图

Figure 10 The varieties regionalization map of wine grape in Region 10 in China

图 11 8, 9, 11, 12 区酿酒葡萄品种区域化图

Figure 11 The varieties regionalization map of wine grape in Regions 8, 9, 11 and 12 in China

天山山地区、塔里木盆地与东疆盆地区(图11)。以上几区都只有晚熟品种适宜区分布。8, 11区适合种植极晚熟酿酒葡萄品种或鲜食葡萄, 此区推荐种植赤霞珠、品丽珠、梅尔诺、歌海娜、佳利酿、晚红密、白玉霓; 9, 12区大部分分布在沙漠腹地, 气候虽适合, 但能否栽培葡萄还要考察当地的土壤和灌溉设施情况。

暖温和暖热区热量条件都能满足葡萄的生长所需。7区中限制葡萄品质的主要因素为成熟期的降水, 所以一般选择晚熟品种, 以避开7, 8月大量的降水, 提高葡萄的品质。8区在有灌溉能力条件下, 水分条件优于7区, 适合酿酒葡萄栽培。10区的限制因素是成熟季的降水过多, 多高温、高湿天气, 葡萄易感病。10区东部大量降水往往出现在7, 8月, 陕西部分年份可能出现秋淋天气, 西南地区则有雨季、旱季之分。葡萄品种可根据当地实际选择, 尽量使成熟期避开雨季, 提高葡萄质量。在有灌溉能力条件下, 11区的

水分条件优于10区, 更利于葡萄生长。9, 12区水分亏缺严重, 必须有良好的灌溉条件才能种植葡萄。两区夏季过于炎热, 最热月均温可达30℃甚至更高, 可能产生日灼, 酿酒葡萄可能酸度过低, 如种植酿酒葡萄应注意选择具有高酸潜力的品种, 栽培上适当注意避光和早采。9, 12区是我国最大的葡萄干产区, 灌溉和土壤条件是该区葡萄种植最重要的限制性因素。

暖温、暖热区无霜期均在200 d以上, 大部分地方积温都可以满足极晚熟葡萄品种生长需要, 但是也有一些早、中、晚熟品种适宜区。由于无霜期较长, 本区的早、中、晚熟品种适宜区葡萄成熟期气温更低, 葡萄成熟更慢, 香气、酚类物质积累更多, 糖酸比协调, 更适合生产优质酿酒葡萄。由图3和6可以看出, 暖温、暖热区最适合酿酒葡萄种植的区域分布在辽东半岛南部——山东半岛北部区、晋陕豫交界附近山区和横断山脉河谷——滇中高原湖盆区。

3 结论

本文以无霜期和活动积温作为酿酒葡萄气候区划的热量指标,干燥度作为水分指标,以极端低温 -35°C 线作为辅助指标,绘制了中国酿酒葡萄气候区划图,将中国酿酒葡萄适宜栽培区划分为4区12亚区.以活动积温为指标分别绘制了12亚区酿酒葡萄品种区域化图,分析了各亚区特点,分别指出了不同亚区最佳栽培区范围,对不同亚区品种引进及栽培给出了建议.本研究区划指标主要采用了李华和火兴三^[5,6,11]建立的中国葡萄气候区划指标体系,同时结合中国西南和东北的特殊气候特点引入了活动积温和年极端低温作为辅助指标,进一步排除了生长期长但夏季过于冷凉和酿酒葡萄难以越冬的区域,提高了西南和东北地区区划的准确度.

以往气候区划研究最多使用几百个、甚至只有几十个站点的气象数据^[1~9,11].本研究使用了全国2294个气象站点的30年逐日气象数据,并采用了多元逐步回归法建模,样本量大使得建模结果更准确.使用残差插值法对建模结果进一步校正,由于引入站点密度大大提高,残差插值结果可信度更高,对于西部站点稀少的区域效果更明显.采用交叉检验法验证了不同插值法对各指标残差插值误差的影响,选择了误差较小的插值方法,进一步提高了数据模拟精度.采用90 m分辨率DEM数据,绘图精度更高.结合前人研究成果,本研究对全国酿酒葡萄适宜栽培

区进行了更精确的分类,区划结果的精确度和准确度以及制图的分辨率均有极大提高,绝大部分地区引种时可直接参考区划结果,这对中国各产区未来葡萄种植及产业发展有着重要的指导意义.

中国幅员辽阔,气候类型多样,不同区域降水量影响因素差异较大,直接以全国站点数据建立干燥度模型误差大,工作量极大但是模拟效果并没有质的提升,因此本研究干燥度直接使用了克里金插值法绘图.在各产区的区划及规划中,尤其是在不同葡萄栽培区的边缘地带的区划中,干燥度模拟的精确度非常重要,一定区域内干燥度的决定因素较稳定,在地形高差较大或在不同栽培区边界处,应该根据各区域对水分指标影响要素的不同而分区分别建模,以提高干燥度等水分指标的模拟精度.中国地形地貌复杂,气候类型多样,即使仅以气候指标分区,以无霜期和干燥度为气候区划指标就可将酿酒葡萄适宜栽培区划分为4区12亚区,并对每个亚区进行了适宜栽培品种的推荐以及不同亚区引种时的注意事项;又将12个亚区以活动积温作为品种区域化指标($2500\sim 2700^{\circ}\text{C}$; $2700\sim 3200^{\circ}\text{C}$; $3200\sim 3500^{\circ}\text{C}$; $>3500^{\circ}\text{C}$),进一步细分为36个不同类型的小产区.如果考虑到土壤等其他因素的影响,可以划分出更加细致的不同类型产区.可以说,中国有潜力成为世界最多样化的葡萄酒生产国,如何发挥各个产区独特的自身优势,将每个产区的潜在价值挖掘出来,需要广大科研学者们共同努力.

致谢 本研究在全国2480个气象站点的气候数据获取方面,中国气象局给予了极大的支持,特此致谢.

参考文献

- 1 Xiu D R, Zhou R S, Chao W J, et al. Analysis and selection of base varieties of climate regionalization index for dry red Wine (in Chinese). *Vitic Wine Making*, 1997, 3: 22–26 [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. 葡萄栽培与酿酒, 1997, 3: 22–26]
- 2 Luo G G. Discussions on the climate section target of grapes (in Chinese). *J Hebei For Sci Tech*, 2004, 5: 61–63 [罗国光. 关于葡萄气候区划指标问题的探讨. 河北林业科技, 2004, 5: 61–63]
- 3 Song R G, Lu W P, Wang J, et al. Study on regionalization of wine wild grape variety (in Chinese). *Sino-overseas Grapevine Wine*, 1999, 2: 14–18 [宋润刚, 路文鹏, 王军, 等. 酿酒山葡萄品种区域化的研究. 中外葡萄与葡萄酒, 1999, 2: 14–18]
- 4 Zhang Z W, Liu Y L, Xi Z M. Climatic regionalization of grape and wine (in Chinese). *Shaanxi Agr Sci*, 2002, 5: 7–10 [张振文, 刘延琳, 惠竹梅. 葡萄与葡萄酒气候区域化. 陕西农业科学, 2002, 5: 7–10]
- 5 Li H, Huo X S. Atmospheric moisture content index in climatic zoning of grapevine cultivation in China (in Chinese). *Chin J Ecol*, 2006, 9: 1124–1128 [李华, 火兴三. 中国酿酒葡萄气候区划的水分指标. 生态学杂志, 2006, 9: 1124–1128]
- 6 Li H, Huo X S. Study of the zoning thermal indexes of the grapevine (in Chinese). *J Northwest Sci-tech Univ Agr For (Nat Sci Edit)*, 2006, 12: 69–73 [李华, 火兴三. 酿酒葡萄区划热量指标的研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 12: 69–73]

- 7 Li H Y, Zhang X Y, Wang J, et al. Ecological regionalization for Merlot in Northern China (in Chinese). *Sino-Overseas Grapev Wine*, 2014, 5: 22–26 [李红英, 张晓煜, 王静, 等. 中国北方酿酒葡萄美乐优质生态区划研究. *中外葡萄与葡萄酒*, 2014, 5: 22–26]
- 8 Li H Y, Zhang X Y, Han Y J, et al. Ecological regionalization for dry red wine grape varieties based on GIS in northern China (in Chinese). *Chin J Ecol*, 2014, 11: 3081–3087 [李红英, 张晓煜, 韩颖娟, 等. 基于 GIS 的中国北方干红酒用葡萄品种生态区划. *生态学杂志*, 2014, 11: 3081–3087]
- 9 Zhang X Y, Liu J, Zhang Y H, et al. Climatic regionalization of wine-grape in North China (in Chinese). *Arid Land Geogr*, 2008, 5: 707–712 [张晓煜, 刘静, 张亚红, 等. 中国北方酿酒葡萄气候适宜性区划. *干旱区地理*, 2008, 5: 707–712]
- 10 Zhang Y L, Shao Z X. Review on the regional cultivation of grape in Yunnan Province (in Chinese). *Anhui Agr Sci Bull*, 2012, 21: 109–111 [张艳丽, 邵则夏. 论云南葡萄区域化栽培. *安徽农学通报*, 2012, 21: 109–111]
- 11 Huo X S. Study of the zoning thermal indexes of the grapevine and viticulture zoning in China (in Chinese). Master Dissertation. Yangling: Northwest A&F University, 2006. 56–58 [火兴三. 中国酿酒葡萄气候区划指标体系及区域化研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006. 56–58]
- 12 Cai F, Yu G R, Zhu Q L, et al. Comparison of precisions between spatial methods of climatic factors: A case study on mean air temperature (in Chinese). *Resour Sci*, 2005, 5: 173–179 [蔡福, 于贵瑞, 祝青林, 等. 气象要素空间化方法精度的比较研究——以平均气温为例. *资源科学*, 2005, 5: 173–179]
- 13 Ye J X. Spatial information research for temperature and precipitation climate data in the Hengduan Mountains (in Chinese). *J Anhui Agr Sci*, 2011, 19: 11767–11770 [叶江霞. 横断山区温度及降雨气候资料空间信息化研究. *安徽农业科学*, 2011, 19: 11767–11770]
- 14 Shi S Q, Chen Y Q, Li Z G, et al. Study on land productivity potential of maize in Jilin Province based on spatial interpolation technique and auxiliary information (in Chinese). *Agr Res Arid Areas*, 2011, 4: 408–414 [石淑芹, 陈佑启, 李正国, 等. 基于空间插值分析的指标空间化及吉林省玉米种植区划研究. *地理科学*, 2011, 4: 408–414]
- 15 Wang X, Lü J K, Liu H B, et al. A detailed simulation study on GIS-based agricultural climate resources spatial distribution in Chongqing (in Chinese). *Chin Agr Sci Bull*, 2009, 14: 256–262 [汪璇, 吕家格, 刘洪斌, 等. 基于 GIS 的重庆农业气候资源空间分布精细模拟研究. *中国农学通报*, 2009, 14: 256–262]
- 16 Liu Y, Zou S B. A study on the distributing climatic models in arid mountainous area-distributing temperature and precipitation models in high spatial resolution in the Qilian Mountains (in Chinese). *J Lanzhou Univ*, 2006, 1: 7–12 [刘勇, 邹松兵. 祁连山地区高分辨率气温降水量分布模型. *兰州大学学报*, 2006, 1: 7–12]
- 17 Li X, Cheng G D, Lu L. Comparison of spatial interpolation methods (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2000, 3: 260–265 [李新, 程国栋, 卢玲. 空间内插方法比较. *地球科学进展*, 2000, 3: 260–265]
- 18 Fang S M, Qian Z T, Li Y P. Comparison of four precipitation spatial interpolation methods in Gansu (in Chinese). *J Arid Land Resour Environ*, 2005, 3: 47–50 [方书敏, 钱正堂, 李远平. 甘肃省降水的空间内插方法比较. *干旱区资源与环境*, 2005, 3: 47–50]
- 19 Wang J L, Sun J S, Zhou Z H, et al. A method for evaluation crop water requirements based on digital elevation model (DEM) (in Chinese). *J Irrig Drain*, 2005, 5: 36–38 [王景雷, 孙景生, 周祖昊, 等. 基于 DEM 的作物需水量估算方法. *灌溉排水学报*, 2005, 5: 36–38]
- 20 Zhu H Z, Luo T X, Daly C. Validation of simulated grid data sets of China's temperature and precipitation with high spatial resolution (in Chinese). *Geogr Res*, 2003, 3: 349–359 [朱华忠, 罗天祥, Daly C. 中国高分辨率温度和降水模拟数据的验证. *地理研究*, 2003, 3: 349–359]
- 21 Yuan X, Li E Y. Spatial variability of crop water requirement (in Chinese). *J Hydraul Eng*, 1990, 2: 33–37 [袁新, 李恩羊. 参照作物需水量的空间变异性. *水利学报*, 1990, 2: 33–37]
- 22 He P C. Viticulture (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1999. 358–383 [贺普超. 葡萄学. 北京: 中国农业出版社, 1999. 358–383]
- 23 Peng D H, Peng X F. Relationship between grape quality and wine quality (in Chinese). *Vitic Wine Making*, 1994, 3: 1–5 [彭德华, 彭学锋. 论葡萄品质与葡萄酒质量的关系. *葡萄栽培与酿酒*, 1994, 3: 1–5]
- 24 Huang H B. A preliminary analysis on the climatic region of grape in North China (in Chinese). *J Beijing Agr Univ*, 1980, 2: 43–51 [黄辉白. 我国北方葡萄气候区域的初步分析. *北京农业大学学报*, 1980, 2: 43–51]
- 25 Luo G G. Some problems on the development of wine grape in China (in Chinese). *Vitic Wine Making*, 1998, 2: 36–40 [罗国光. 关于我国发展酿酒葡萄的几个问题. *葡萄栽培与酿酒*, 1998, 2: 36–40]
- 26 Ding Y H. Climate of China (in Chinese). Beijing: Science Press, 2013. 393–402 [丁一汇. 中国气候. 北京: 科学出版社, 2013. 393–402]

Summary for “中国葡萄气候区划 II：酿酒葡萄品种区域化”

Climatic regionalization of grape in China II: Wine grape varieties regionalization

WANG Lei¹, LI Hua^{2,3*} & WANG Hua^{2,3*}¹ College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;² College of Enology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;³ Shaanxi Engineering Research Center for Viti Viniculture, Yangling 712100, China

* Corresponding authors, E-mail: lihuawine@nwsuaf.edu.cn; wanghua@nwsuaf.edu.cn

The quality of grape wine depends on grape varieties, and a certain variety only plays its potential when cultivating in the adaptable ecological conditions. With the improvement of living standards, people's demand for wine quality is also getting higher and higher, the grape and wine industry in China developed rapidly, therefore, the precision of the wine grape varieties regionalization must be improved to meet the requirements. In the past, the climatic regionalization studies used meteorological data of only a few hundred or even dozens of stations. This study based on the meteorological data of 2294 stations in 30 years (from 1982 to 2011) and the digital elevation model (DEM) data with the resolution of 3" (90 meter) in China, under the support of ArcGIS platform, to establish the multivariate stepwise regression model of the frost-free period and active accumulated temperature. The ordinary kriging and inverse distance weighting methods were adopted to make interpolation of the spatial regression residual error of the frost-free period and the active accumulated temperature, the simulated values of the raster layer and the residual value of the raster layer are overlaid to obtain the raster layers of frost-free period and active accumulated temperature; the ordinary kriging was chosen for the spatial interpolation of dryness index to obtain the raster layers of dryness index. At the same time, combined with the special climate characteristics of southwest and northeast of China, we introduced active accumulated temperature and annual extreme low temperature as the auxiliary index to exclude the areas where were too cold for the wine grapes to pass the winter, which improved the accuracy of this research greatly. The climatic regionalization map and varieties regionalization map of grape in China with high accuracy were produced on this basis. The suitable cultivation area for grape in China was divided into 4 districts and 12 sub-districts, and the sub regions are further divided according to the different active accumulated temperature of different maturity grape varieties, then the wine grape variety regionalization map of 12 sub-districts were also produced and described according to the climatic characteristics and distribution range of each sub-district. Suggestions on the introduction and cultivation of grape varieties in different areas were also given. The regionalization results show that the types of wine grape cultivation areas in China are various; the types of Chinese wine grape suitable areas are up to 36 species without considering other factors such as soil conditions. The characteristics of different regions are distinctive, and there will be more types under further precise divisions according to soil conditions and other factors. It is inevitably that China has the potential to become the most diversified wine producing country in the world. The majority of research scholars need to make a concerted effort to dig out the potential value and play the unique advantage of each region. The regionalization map of this study have a high resolution, the recommendations of planting varieties in different grape growing regions are more targeted. It has a certain reference value in the selection of grape varieties in different areas and the relevant industrial policy making.

***Vitis vinifera* L., variety regionalization, active accumulated temperature, spatial calculation, GIS**

doi: 10.1360/N972017-00249