贵州白酒生产企业空间分布与生物气候变量的关联性分析

郄广平[1,2],曹语涵[3],陈水珍[1],王 敏[1],余 敏[1],何禹蓓[1],王晨征[1],王敏姿[4]*

(1.茅台学院 旅游管理系,贵州 仁怀 551801;2.茅台学院 酒文化研究中心,贵州 仁怀 551801;3.马萨诸塞大学阿默斯特分校社会与行为科学学院,美国马萨诸塞州 阿默斯特 01003;4.茅台学院 资源环境系,贵州 仁怀 551801)

摘 要:通过收集19个生物气候变量的栅格数据及白酒企业的地理分布数据,利用核密度估计(KDE)法绘制白酒生产企业密度分布图,进而分析其与生物气候变量之间的相关性,并提出贵州产业布局与资源配置策略。结果表明,贵州白酒生产企业主要集中在遵义市,且企业的空间核密度值与19个生物气候变量及数字高程模型(DEM)均呈高度显著相关性($P<0.001$),其中与DEM呈负相关,表明白酒企业更多的分布在低海拔地区;与日较差、等温性、最湿月份的降水量和最暖季度的降水量呈负相关,说明温差较小、降水适中稳定的地区更有利于酿酒微生物发酵环境的稳定性;而与温度季节性、最暖月份的最高温度、最冷月份的最低温度、年温差、最湿月份的最低温度及最暖季度的平均温度均呈正相关,表明白酒企业偏好分布在气候冷暖分明、高温高湿且冬季不极寒的区域,这种自然条件更有利于发酵动力的激活与酿酒微生态的形成。因此,贵州白酒产业在未来发展中应将生物气候变量纳入产业规划,构建气候适应性评价体系,科学划定适宜发展区与限制开发区,提升选址与资源配置的精准性。

关键词:空间分布;生物气候变量;核密度估计;产业布局

中图分类号:TS262.3 **文章编号**:0254-5071(2025)12-0298-05 doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2025.12.042

引文格式:郄广平,曹语涵,陈水珍,等. 贵州白酒生产企业空间分布与生物气候变量的关联性分析[J]. 中国酿造,2025,44(12):298-302.

Analysis of the correlation between the spatial distribution of Guizhou *Baijiu* production enterprises and bioclimatic variables

QIE Guangping[1,2], CAO Yuhan[3], CHEN Shuizhen[1], WANG Min[1], HE Yubei[1], WANG Chenzheng[1], WANG Minzi[4]*

(1.Department of Tourism management, Moutai Institute, Renhuai 551801, China; 2.Center for Baijiu Culture Research, Moutai Institute, Renhuai 551801, China; 3.College of Social Behavioral Science, University of Massachusetts Amherst, Amherst 01003, United States; 4.Department of Natural Resources and Environment, Moutai Institute, Renhuai 551801, China)

Abstract: The density distribution map of *Baijiu* production enterprises was drawn using the kernel density estimation (KDE) method by collecting the raster data of 19 bioclimatic variables and the geographical distribution data of *Baijiu* enterprises, then the correlation between it and bioclimatic variables was analyzed, and the industrial layout and resource allocation strategies for Guizhou were proposed. The results showed that the *Baijiu* production enterprises in Guizhou were mainly concentrated in Zunyi City, and the spatial kernel density values of the enterprises were highly significantly correlated with 19 bioclimatic variables and the digital elevation model (DEM) ($P<0.001$), among which there was a negative correlation with DEM, indicating that *Baijiu* enterprises were more distributed in low-altitude areas. It was negatively correlated with the diurnal range, isothermality, precipitation in the wettest month and precipitation in the warmest quarter, indicating that areas with smaller temperature differences and moderate and stable precipitation were more conducive to the stability of the fermentation environment for brewing microorganisms. It was positively correlated with the temperature seasonality, the highest temperature of the warmest month, the lowest temperature of the coldest month, the annual temperature difference, the lowest temperature of the wettest month and the average temperature of the warmest quarter. This indicated that *Baijiu* enterprises prefer to be distributed in areas with distinct cold and warm climates, high temperature and humidity, and not extremely cold winters. Such natural conditions were more conducive to the activation of fermentation power and the formation of the brewing micro-ecology. Therefore, in the future development of the Guizhou *Baijiu* industry, bio-climate variables should be incorporated into industrial planning, a climate adaptability evaluation system should be established, suitable development zones and restricted development zones should be scientifically demarcated, and the accuracy of site selection and resource allocation should be enhanced.

Key words: spatial distribution; bioclimatic variables; kernel density estimation; industrial layout

收稿日期:2024-11-08 **修回日期**:2025-05-22

基金项目:贵州省委重大问题调研课题(2024C044);贵州省教育厅人文社科项目(2023GZGXRW168);贵州省理论创新课题(GZLCLH-2023-128);贵州省高校人文社会科学研究(2025RW017)

作者简介:郄广平(1981-),男,副教授,博士,研究方向为区域经济学、遥感和地理信息科学。

***通讯作者**:王敏姿(1986-),女,副教授,博士,研究方向为资源环境遥感和地理信息科学。

在国家推动高质量发展和产业结构优化的大背景下，白酒产业作为中国传统优势产业之一，正面临着绿色转型与生态布局的双重挑战。贵州省作为中国重要的白酒产地，不仅是国家重点支持的酱香型白酒产业核心区，也是“生态优先、产区保护”战略的重要实践区。在地方政策层面，贵州省不断强化对酱酒主产区的资源整合与区域规划，力图构建更加科学合理的产业空间格局，以提升核心产区的综合竞争力和可持续发展能力。从现实发展背景来看，贵州省拥有丰富的自然资源与深厚的白酒酿造文化，尤其以茅台镇的茅台酒在国内外享有盛誉[1]。近年来，随着我国经济的持续增长和消费结构的不断升级，白酒市场规模迅速扩大，贵州省白酒生产企业数量大幅上升，逐步形成了独具地域特色的空间集聚格局[2-3]。然而，企业的空间布局不仅仅受到市场供需、交通区位、历史传承等因素的影响，更深层次地与自然生态环境密切相关，尤其是生物气候条件对酿造过程中的微生物发酵环境具有直接调控作用[4-5]。

在理论研究层面，已有文献指出，白酒生产企业的空间分布特征在一定程度上受到气候、地形、土壤和生物因子的综合作用，特别是在贵州、四川等典型酿酒产区，温度、湿度、降水等气候要素对酿造微生物的生长与代谢活动具有重要影响[5-7]。生物气候变量是基于气温和降水等基础气候要素计算得出的生态指标，广泛应用于物种分布建模、生态系统评价和环境变化研究之中[8-11]。当前国际主流的生物气候指标包括19个变量，部分变量与酒类酿造中的关键微生物（如酵母菌和霉菌）的生理活动密切相关，适宜的气候条件可促进风味物质的生成，对酱香型白酒品质的稳定性与地域特征的形成具有重要作用[12-14]。因此，深入研究生物气候变量与白酒生产企业空间分布之间的关系，既有助于揭示贵州白酒产业的空间演化机制，也为地方政府优化产业布局、推动资源要素高效配置提供理论支持与数据支撑。在生态文明建设与可持续发展要求日益凸显的背景下，探索自然环境与产业分布的耦合关系，对于提升贵州白酒产业整体竞争力、推动绿色高质量发展具有重要现实意义[15]。

为此，本研究以贵州省为研究区域，基于企业空间分布数据和生物气候变量，系统分析白酒生产企业的空间分布密度与不同气候因子之间的相关性，进而提出贵州白酒产业布局与资源配置策略，为白酒生产企业的建设选址提供理论支撑，助力白酒产业的可持续发展。

1 研究数据与方法

1.1 研究数据

本研究所采用的数据集包括数字高程模型（digital elevation model，DEM）数据、中国行政边界的矢量数据、贵州省行政边界的矢量数据，19个生物气候变量的栅格数据。此外，本研究还使用了贵州省白酒生产企业的相关数据，包括企业地址、所属地级市/州、登记状态等信息。其中，数字高程模型数据下载自地理空间数据云网站（https://www.gscloud.cn/#page1/1）；中国行政边界&贵州行政边界等矢量数据下载自国家基础地理信息中心（https://www.webmap.cn/store.do?method=store&storeId=2）；生物气候变量数据下载自世界气候网站（WoldClim）（https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html）。白酒生产企业的相关数据下载自企查查官方网站（https://www.qcc.com/），其中，企查查数据收集过程中，搜索关键词为白酒，筛选条件设置为经营范围+贵州省+制造业+酒、饮料和精制茶制造业+酒的制造，在此基础上共搜集到白酒生产企业4 222条。

生物气候变量是根据气候条件对生态系统、物种分布、农业生产等领域进行定量分析的重要指标，涵盖了温度、降水、湿度等气候因素。常用的19个生物气候变量，分别为年平均气温（bio1）、日极差（bio2）、等温性（bio3）、温度季节性（bio4）、最暖月份的最高温度（bio5）、最冷月份的最低温度（bio6）、年温差（bio7）、最湿月份的最低温度（bio8）、最干季节的平均温度（bio9）、最暖季度的平均温度（bio10）、最冷季度的平均温度（bio11）、年降水量（bio12）、最湿月份的降水量（bio13）、最干月份的降水量（bio14）、降水季节性（bio15）、最湿季节的降水量（bio16）、最干季节的降水量（bio17）、最暖季度的降水量（bio18）、最冷季度的降水量（bio19）。通过反映气候对生物体生存环境的影响，帮助预测物种适应性、生态功能和农业生产等方面的变化。这些生物气候变量的计算通常基于气象数据，通过如年平均气温、年降水量、气温季节性变化、降水季节性变化等指标，并结合地理信息系统（geographical information system，GIS）软件技术、遥感数据进行统计分析，能够为全球气候变化、生态保护和农业气候适应提供重要依据。具体来说，这些变量不仅用于气候适宜性研究，还在生物多样性保护、农业发展、水资源管理等领域有广泛应用。生物气候变量直接影响微生物的生长与繁殖，尤其是温度、湿度和降水等气候因素，适宜的气候条件有助于微生物的繁殖和代谢，而极端的气候则可能限制微生物的生存[16]。因此，气候变化对微生物种群的影响具有重要意义，可能引起物种优势地位的改变，从而影响生态系统稳定性和农业生产的可持续性[17-19]。这些变量为研究气候变化、生态系统服务和生物气候适应提供了新视角和工具[20-22]。本研究中所使用的生物气候变量数据为栅格数据。生物气候变量的栅格数据是通过将气候和环境变量以网格形式进行空间化表示，广泛应用于气候模式预测、物种分布建模及生态环境评估等领域[23-25]。这些数据源自气象站、遥感影像及气候模型输

出，每个栅格单元代表特定地理区域内的环境特征（如温度、降水、湿度等变量），通常依据地理坐标和时间进行划分。栅格数据的特点是将空间信息按均匀网格划分，使得每个栅格单元具有统一的分辨率与尺寸，便于大范围区域的系统性分析。通过GIS技术，方便精确分析不同生物气候变量在空间上的分布特征，揭示其与生态系统、农业生产等活动之间的关系。

1.2 *研究方法*

首先，通过使用核密度估计（kernel density estimation，KDE）法[26]，对贵州省范围内白酒生产企业空间分布的核密度进行绘图。然后使用ArcGIS10.8软件，提取每个白酒生产企业所在地的核密度值作为因变量，提取每个白酒生产企业所在地的生物气候变量作为自变量，分析因变量和自变量之间的关联性，在此基础上，找出与白酒生产企业空间分布密度相关联的显著变量。

其中，核密度估计是地理信息学中一种常用的空间分析方法，用于估算特定现象或对象在某一空间区域的分布密度。该方法通过为每个观测点（如地理位置或事件发生地点）分配一个核函数，计算该点周围指定半径内的加权密度，从而生成连续的密度表面，揭示空间现象的聚集或分布规律。核函数通常采用高斯核或圆形核，距离观测点越近的区域赋予越高的权重，计算结果以栅格地图形式呈现，其中每个栅格单元的值表示该位置的密度。核密度分析广泛应用于城市规划、环境管理、公共卫生等领域，能够有效识别高密度聚集区（热点区域）与低密度区，为资源分配、政策制定和规划决策提供依据。其优势在于不依赖于预设的空间网格，而是通过连续的密度估计捕捉空间现象的局部模式，避免了传统空间分析方法可能存在的简化或误差，是探索和可视化空间数据分布的重要工具。其计算公式如下：

$$F(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}k\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$$

式中：$F(x)$为核函数；x_i表示第i（i=1，2，…，n）点的地理坐标；k为核的权重函数；h为核密度函数的带宽。

核函数的形状和取值范围与所用地理要素点的个数和利用紧密相关，核密度分析的准确程度取决于核函数和带宽h的选取。

2 结果与分析

贵州白酒生产企业空间分布核密度估计分析结果见图1。由图1可知，贵州白酒生产企业在全省范围内呈现出不均匀的分布状态，密度由高到低依次以红色至蓝色表示。白酒生产企业的空间密集分布区域集中在贵州省的遵义市，呈现出显著的高密度热点区域。在遵义市外，贵阳市周边以及毕节市和六盘水市部分地区也存在一定的白酒企业集聚现象，但密度明显低于遵义市核心区域。贵州省的其他地区白酒企业分布较为稀疏，密度值逐渐降低。贵州白酒生产企业的空间集聚现象或与当地的地理环境、气候、酿酒传统、政策扶持等因素密切相关。

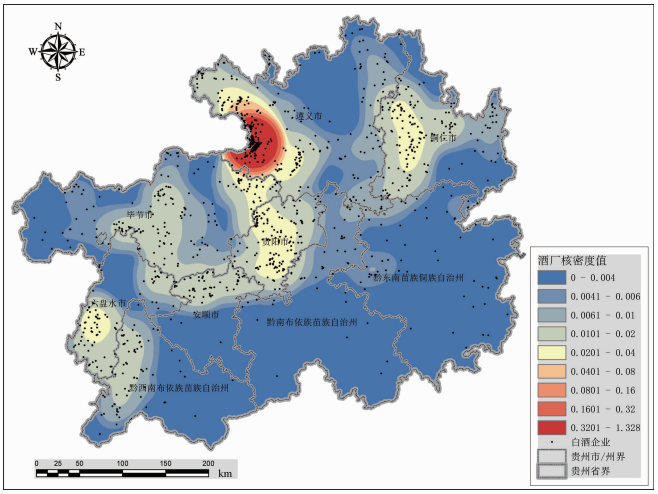
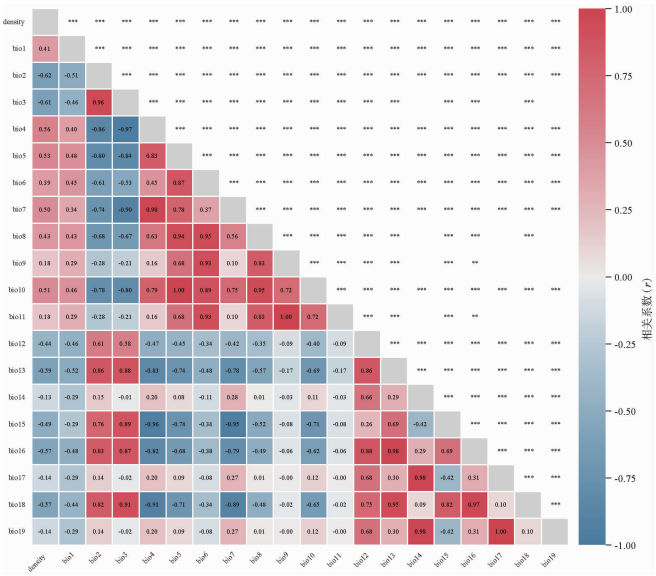


图1 贵州白酒生产企业空间分布核密度估计图

Fig. 1 Kernel density estimation map of spatial distribution of *Baijiu* production enterprises in Guizhou province

贵州白酒生产企业的空间分布核密度与生物气候变量以及数字高程模型的相关性见图2。由图2可知，白酒生产企业的空间核密度与19个生物气候变量之间的相关性均高度显著（P<0.001）。核密度值与日极差（bio2）的相关系数为-0.62，与等温性（bio3）的相关系数为-0.60，表明白酒企业更倾向于分布在日温差较小、气候变化稳定性较高的区域。另外，核密度值与最湿月份的降水量（bio13）的相关系数为-0.56，与最暖季度的降水量（bio18）的相关系数为-0.55，均表现出中等强度的负相关性，说明企业较少分布在降水极端湿润的区域。此外，核密度值与DEM的相关系数为-0.46，表明白酒企业更多的分布在低海拔地区。

温度季节性（bio4）、最暖月份的最高温度（bio5）、最冷月份的最低温度（bio6）、年温差（bio7）、最湿月份的最低温度（bio8）以及最暖季度的平均温度（bio10）这6个生物气候变量均与企业核密度值呈显著正相关（P<0.001），表明白酒企业普遍更倾向于分布在“夏热冬不寒、年温差大、季节分明、湿热气候显著”的区域。其中，温度季节性（bio4）和年温差（bio7）共同指向企业选址对“冷暖分明”的气候节律具有明显偏好，这种环境有利于“温差激发”式发酵过程的顺利进行，是酱香型白酒生产中微生物多阶段反应的重要生态基础。同时，较高的最暖季度的平均温度（bio10）与最湿月份的最低温度（bio8）为微生物持续活跃提供热湿环境，而最冷月份的最低温度偏高（bio6）则避免了发酵停滞和能源消耗的增加。这些气候特征在遵义等核心产区尤为显著，构建了稳定、适宜的酿酒微生态环境。因此可以认为，温度和湿度变化幅度适中且季节性显著的地区，正是白酒产业空间集聚的重要生态基础，是区域酿酒资源禀赋的核心体现。



“*”表示显著相关($P<0.05$);“**”表示极显著($P<0.01$);“***”表示高度显著($P<0.001$);“density”表示核密度值。

图2　贵州白酒生产企业空间分布核密度与生物气候变量及数字高程模型间的相关性分析热图

Fig. 2 Heat map of correlation analysis between the spatial distribution kernel density of *Baijiu* production enterprises and bioclimatic variables and digital elevation model

3 白酒产业发展对策分析

结合贵州白酒生产企业空间分布核密度与生物气候变量的相关性结果,为推动贵州白酒产业向生态化、集群化和区域协调发展的方向迈进,应注重将气候适宜性纳入产业布局决策的核心逻辑。在推动高质量发展的过程中,政府相关部门应充分重视生物气候因素对产业空间分布的制约作用,基于关键变量(如bio2、bio3、bio4、bio5)开展科学的适宜性评估与分区规划,划定白酒产业的重点发展区、限制发展区和生态保护缓冲区,实现精准化布局与资源的高效配置。因为白酒企业更倾向于聚集在季节性温度变化较大(bio4较高)、昼夜温差和温度波动较小(bio2与bio3较低)的地区,且偏暖的冬季气候也有助于提升微生物发酵效率。因此,建议将具备此类气候特征的区域划为重点发展区,实行科学开发、严控无序扩张,保障酿酒生态系统的稳定性和可持续性。另外,构建以生物气候适应性为导向的企业选址评价体系,将关键气候变量纳入定量指标,建立气候适应性指数或生态适宜性分区图,为新建或扩建酒厂提供科学参考。政府应引导企业将选址标准与气候资源匹配机制纳入决策流程,避免因盲目布局带来的资源浪费和环境破坏,提升整体空间布局的科学性、生态性与可持续性。同时,应鼓励白酒产业向气候条件相对适宜的边缘区域合理拓展,特别是在贵阳、毕节、六盘水等已具备一定集聚潜力的地区,可结合土地利用、交通条件和水资源承载力,推动产业适度扩散,缓解核心产区所面临的资源与环境压力。在此基础上,推动形成以适宜气候区为核心的生态型白酒产业链,促进绿色种植、生态酿造与环境监测一体化发展。通过数字化、智能化手段提升对微生物发酵环境的精细化调控能力和产业系统的抗风险能力,为白酒产业的稳定运行与可持续增长提供科技支撑。最后,建议加强区域协同与政策引导,统筹考虑各地气候资源优势与产业基础条件,推进特色风味产区的差异化打造,构建多点支撑、错位发展的空间格局,从而整体提升贵州白酒产业的竞争力与可持续发展水平。

4 结论与展望

本研究通过数据分析与绘图,发现贵州的白酒生产企业在地理上表现出明显的空间集聚性,尤其集中在遵义市及其周边区域,这与该地的气候适宜性和资源禀赋密切相关。相关性分析表明,白酒企业的空间核密度值与19个生物气候变量及DEM之间呈高度显著相关性($P<0.001$)。其中,与DEM呈负相关,表明白酒企业更多的分布在低海拔地区;与日极差、等温性、最湿月份的降水量和最暖季度的降水量呈负相关,说明温差较小、降水适中稳定的地区更有利于酿酒微生物发酵环境的稳定性;而与温度季节性、最暖月份的最高温度、最冷月份的最低温度、年温差、最湿月份的最低温度及最暖季度的平均温度均呈正相关,表明白酒企业偏好分布在气候冷暖分明、高温高湿且冬季不极寒的区域,这种自然条件更有利于发酵动力的激活与酿酒微生态的形成。因此,贵州白酒产业在未来发展中应将生物气候变量纳入产业规划,构建气候适应性评价体系,科学划定适宜发展区与限制开发区,提升选址与资源配置的精准性。

本研究揭示了贵州白酒产业与生物气候变量的紧密联系,但仍存在一些不足。首先,研究仅考虑了地理气候变量与海拔数据,未深入分析其他潜在的影响因素,如水资源质量、土壤成分和社会经济因素等。其次,研究中的生物气候数据主要为栅格数据,虽然能够展示大范围的空间分布特征,但可能忽视了局部小气候的精细变化。此外,基于当前的数据分析,研究仅展示了白酒生产企业分布的静态特征,未能揭示企业布局的动态演变过程。未来研究应进一步整合多维度数据,结合水质、土壤和经济发展等因素,深入探讨白酒产业的空间布局机制。此外,可以引入更高分辨率的气候和环境数据,以捕捉贵州白酒产区内更细微的生态差异。同时,应用时间序列分析,动态监测白酒生产企业的分布变化趋势,以更好地理解气候变化及其他因素对白酒产业发展的长期影响。通过拓展这些研究视角,将为贵州白酒产业的高质量发展提供更加全面的科学支撑。

参考文献:

[1] 郭子健. 近代中国“茅台酒”品牌的演进[J]. 近代史研究,2022(1):82-94,

160-161.

[2] 郄广平,卜建东,欧信忠,等. 贵州白酒产业的空间分布特征与驱动力分析[J]. 中国酿造,2024,43(7):269-273.

[3] 郄广平,白旭,卜建东,等. 贵州打造酱香型白酒金三角产区构想及策略[J]. 中国酿造,2024,43(8):281-285.

[4] SILVA P. Low-alcohol and nonalcoholic wines: From production to cardiovascular health, along with their economic effects[J]. **Beverages**, 2024, 10(3): 49.

[5] JIANG X L, XU J P, LUO J R, et al. Network design towards sustainability of Chinese *Baijiu* industry from a supply chain perspective[J]. **Discrete Dyn Nat Soc**, 2018(1): 4391351.

[6] BASALEKOU M, KYRALEOU M, KALLITHRAKA S. Authentication of wine and other alcohol-based beverages-Future global scenario[M]. Pittsburgh: Academic Press, 2022: 669-695.

[7] BEUCHAT L R. Influence of water activity on growth, metabolic activities and survival of yeasts and molds[J]. **J Food Prot**, 1983, 46(2): 135-141.

[8] AMIRI M, TARKESH M, JAFARI R, et al. Bioclimatic variables from precipitation and temperature records vs. remote sensing-based bioclimatic variables: Which side can perform better in species distribution modeling?[J]. **Ecol Inform**, 2020, 57: 101060.

[9] VEGA G C, PERTIERRA L R, OLALLA-TÁRRAGA M, et al. MERRAclim, a high-resolution global dataset of remotely sensed bioclimatic variables for ecological modelling[J]. **Sci Data**, 2017, 4(1): 1-12.

[10] BOOTH T H. Checking bioclimatic variables that combine temperature and precipitation data before their use in species distribution models[J]. **Austral Ecol**, 2022, 47(7): 1506-1514.

[11] JESCHKE J M, STRAYER D L. Usefulness of bioclimatic models for studying climate change and invasive species[J]. **Ann NY Acad Sci**, 2008, 1134(1): 1-24.

[12] 赵湖冰,杨刚仁,李旭,等. 酱香型白酒堆积发酵异常的研究现状与展望[J]. 中国酿造,2024,43(10):1-5.

[13] 龙亚飞,朱孜,郭淳钦,等. 酱香型白酒下沙、造沙堆积发酵过程中产四甲基吡嗪功能微生物的变化[J]. 中国酿造,2024,43(10):65-73.

[14] 冯智伟,郭松波,孙朋朋,等. 酱香型白酒高温大曲贮曲过程理化性质与微生物演替规律分析[J]. 中国酿造,2024,43(9):44-49.

[15] 张邦琨,张萍. 喀斯特地貌不同演替阶段植被小气候特征研究[J]. 贵州气象,2000,24(3):17-21.

[16] BOGALE A T, BRAUN M, BERNHARDT J, et al. The microbiome of the lichen *Lobaria pulmonaria* varies according to climate on a subcontinental scale[J]. **Environ Microbiol Rep**, 2024, 16(3): e13289.

[17] DUTTA H, DUTTA A. The microbial aspect of climate change[J]. **Energy Ecol Environ**, 2016, 1: 209-232.

[18] MEKALA S, POLEPONGU S. Impact of climate change on soil microbial community[M]. Cham: Springer International Publishing, 2019: 31-41.

[19] VICUÑA R, GONZÁLEZ B. The microbial world in a changing environment[J]. **Rev Chil Hist Nat**, 2021, 94: 1-5.

[20] BAREA G, MERCADO M V, FILIPPÍN C, ET AL. New paradigms in bioclimatic design toward climatic change in arid environments[J]. **Energy Build**, 2022, 266: 112100.

[21] LAVOREL S, COLLOFF M J, MCINTYRE S, et al. Ecological mechanisms underpinning climate adaptation services[J]. **Glob Change Biol**, 2015, 21(1): 12-31.

[22] OZARISOY B, ALTAN H. Systematic literature review of bioclimatic design elements: Theories, methodologies and cases in the South-eastern Mediterranean climate[J]. **Energy Build**, 2021, 250: 111281.

[23] BEAUMONT L J, HUGHES L, POULSEN M. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions[J]. **Ecol Model**, 2005, 186(2): 251-270.

[24] PEARSON R G, DAWSON T P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?[J]. **Glob Change Biol**, 2003, 12(5): 361-371.

[25] WALTARI E, SCHROEDER R, MCDONALD K, et al. Bioclimatic variables derived from remote sensing: Assessment and application for species distribution modelling[J]. **Methods Ecol Evol**, 2014, 5(10): 1033-1042.

[26] 韩玉祥,陈亮. 基于GIS的核密度分析方法在海上浮标平台选址中的应用研究[J]. 中国航海,2023,46(3):59-64,71.