江西农业学报 2024,36(11):91~98
Acta Agriculturae Jiangxi
DOI:10.19386/j.cnki.jxnyxb.2024.11.013

崂山茶气候品质评价方法研究

刘春涛,栾云龙,陈伟山,武斐斐,朱俊翰,魏明明
(青岛市崂山区气象局,山东 青岛 266100)

摘 要: 基于2022—2023年崂山茶群体种和龙井43这2个品种的主要生化成分数据与崂山区基本气象站的观测资料,对连续2年采集茶叶的主要生化成分茶多酚、氨基酸含量和酚氨比与采茶日前1~15 d的逐日气象资料分别进行了相关性分析、回归分析和聚类分析。结果表明:(1)崂山茶2个品种的氨基酸、茶多酚含量和酚氨比与采茶日前1~15 d的气象因子存在显著相关关系。(2)建立了茶多酚、氨基酸含量和酚氨比与气象因子的最优回归模型,通过预报酚氨比的阈值判定了崂山茶叶气候品质对应的等级。(3)建立了崂山茶全年气候评价指标,根据茶多酚含量及其对应的气象条件将崂山茶品质划分为四个等级:特优、优、良好和一般。

关键词: 崂山茶;气候品质;相关分析;回归分析;聚类分析
中图分类号: S571.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8581(2024)11-0091-08

Research on Evaluation Method of Climate Quality in Laoshan Tea

LIU Chun-tao, LUAN Yun-long, CHEN Wei-shan, WU Fei-fei, ZHU Jun-han, WEI Ming-ming
(Laoshan Meteorological Bureau of Qingdao, Qingdao 266100, China)

Abstract: Based on the main biochemical composition data of Laoshan tea varieties and Longjing 43 and the observation data of basic meteorological stations in Laoshan District from 2022 to 2023, correlation analysis, regression analysis and cluster analysis were conducted on the basis of daily meteorological data from 1 day to 15 days for 2022~2023 before the date of picking and the ratio of polyphenols, amino acids and phenolamine. The results showed that: (1) There was a significant correlation between the amino acids, polyphenols and phenolamine ratios of Laoshan tea varieties and the meteorological factors from 1 day to 15 days before tea picking day. (2) The optimal regression model of tea polyphenols, amino acids, phenolamine ratio and meteorological factors was established to predict the phenolamine ratio threshold to determine the different grades of climate quality in Laoshan tea. (3) The annual climate assessment index for Laoshan tea was established. According to the content of tea polyphenols and the corresponding meteorological conditions, the quality of Laoshan tea was categorized into four grades: extra best excellent, good and general.

Key words: Laoshan tea; Climate quality; Correlation analysis; Regression analysis; Cluster analysis

0 引言

崂山茶种植区在我国四大茶区之一的江北茶区,位于山东半岛黄海之滨崂山脚下,是我国纬度最高海岸山地茶(北纬36°)。崂山区现有茶叶种植面积约1333 hm^2,从业人员约1.7万人,年产值6亿多元,区域品牌价值15.98亿元,是我国“江北第一名茶”。

崂山茶的主要品种包括群体种和龙井43等,根据加工工艺的不同崂山茶主要分为松针、扁茶、碧螺春三大类。松针茶形状如松针,颜色青绿,有黄头;扁茶茶形扁平,形态与杭州的龙井茶类似;碧螺春(卷茶类)茶形卷曲,呈青绿色。群体种适宜生长的下限温度为日平均气温12 ℃,龙井43适宜生长的下限温度为日平均气温10 ℃。崂山茶通常每年4月上中旬至10月上中旬为采茶期,4月至6月上旬为春茶生长期,6月中下旬至8月中下旬为夏茶生长期,9月至10月中旬为秋茶生长期,每年10月下旬至翌年2月为越冬休眠期,3月上旬开始返青生长,茶叶的越冬期与采摘期分别较南方茶区推迟2~3个月。

收稿日期: 2024-08-12
基金项目: 青岛市气象局科研课题(2022qdqxm03)。
作者简介: 刘春涛(1970—),男,山东聊城人,高级工程师,硕士,主要从事农业气象服务与研究工作。

茶叶气候品质评价作为现代农业气象服务的一种创新服务形式，促使基层农业气象服务能力得到了提升，其通过准确反映茶叶生长的综合气候生态环境，为茶叶贴上气候身份证的标签，增加了茶叶的附加值，对提升茶叶的知名度和市场竞争力具有重要意义[1]。气候条件对茶叶品质的影响显著，如娄伟平等[2-3]将茶多酚、氨基酸、酚氨比与采摘前1~20 d的气象条件进行了相关性、敏感性分析，制定了新昌茶叶气候品质评价方案；学者们通过研究浙江省茶叶气候品质，制定了茶叶气候品质评价气象行业标准[4]；刘瑞娜等[5-10]基于气象行业标准分别制定了安徽、江西和重庆等省市的茶叶气候品质评价指标，验证了茶叶气候品质气象行业标准适用于南方各茶区；黄雄等[11-12]应用模糊数学分析法建立了福建拓荣县、安徽桐城市茶叶气候评价模型；Guo等[13]构建了龙井43绿茶品质判别模型；Zhao等[14]改进了YOLOv8x-SPPCSPC-CBAM模型的鲜茶叶品质等级划分标准；Wipawee等[15]通过代谢指纹图谱预测了绿茶的品质；Chen等[16]对不同采收期大叶种红茶品质进行了分析；Shan等[17]研究认为，茶叶鲜味主要取决于氨基酸的含量；Xu等[18-19]研究发现，动态浸提条件影响了绿茶的化学成分和感官品质；Ge等[20-22]研究认为，不同的遮阴方式、环境因子均对茶叶生化成分存在显著的影响。通常情况下，茶叶生化成分与平均气温、平均相对湿度、累计日照时数、累计降雨量存在显著相关关系，当平均气温大于茶叶生长的下限温度时，平均气温越低、相对湿度越高，茶叶的品质越好；活动积温越高，降雨量越多，茶叶的产量越高，气候变化是影响茶叶产量、品质的重要因素[23-24]。

目前，关于江北茶区气候条件对茶叶品质影响的相关研究较少，因此本文通过对崂山茶区2个茶树品种的主要生化成分茶多酚、氨基酸含量和酚氨比与采茶日前1~15 d的气象要素进行相关性分析、回归分析、酚氨比聚类分析，探究对茶叶生化成分影响显著的气象因子和时段，构建酚氨比预报模型，建立崂山茶气候品质评价指标，探索崂山茶气候品质评价方法，以期为开展茶叶气候品质研究提供新的视角。

1 材料与方法

1.1 试验材料与方法

茶叶样本采自青岛市崂山区气象局国家基本气象站南约3 km，面积约15 hm^2的北崂茶场，分别选取群体种和龙井43这两块茶园作为观测地段，每块茶园面积约2 hm^2，按照农业气象田间试验方法，在每个茶园的南、北、东、西4个方位定时采茶，2022年和2023年4月上旬至10月中旬，每隔5~7 d采茶一次，按照崂山茶团体标准[25]加工制成崂山茶群体种、龙井43干茶成品，由中国农业科学院浙江茶叶研究所根据茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[26]和茶游离氨基酸总量的测定方法[27]，分别检测茶叶样本中的茶多酚和氨基酸含量，并根据茶多酚与氨基酸含量计算得出对应的酚氨比。2年共检测群体种茶多酚、氨基酸含量和酚氨比各47个样本共188个重复，龙井43各41个样本共164个重复。

1.2 数据来源与分析

气象资料采用崂山区气象局国家基本气象站的观测资料，选取2022年和2023年3月下旬至10月中旬逐日气象资料，主要包括逐日平均气温、逐日平均相对湿度、逐日日照时数、逐日气温的日较差、逐日最高气温、逐日最低气温。利用SPSS 22.0统计分析软件进行相关性分析、回归分析和聚类分析，建立崂山茶气候品质评价指标。群体种采用44个样本建模、龙井43采用38个样本建模，随机各选取3个样本分别代表春茶、夏茶和秋茶对预报模型进行检验。

2 结果与分析

2.1 崂山茶主要气象因子的确定

本研究将茶多酚、氨基酸含量和酚氨比分别与采摘日前1~15 d的主要气象因子，包括日平均气温、日平均相对湿度、日平均日照时数、平均气温日较差、日最高气温、日最低气温进行相关性分析，确定影响崂山茶品质的关键气象因子。因为各气象因子量纲不同，在进行相关性分析前对气象资料统一做归一化处理，群体种和龙井43的茶叶生化成分与气象因子的相关性及主要影响时段见表1和表2。

由表1和表2可以看出，2个茶叶品种茶多酚含量与日平均相对湿度、日最低气温均呈正相关，与日平均日照时数、平均气温日较差均呈负相关；氨基酸含量与日平均日照时数、平均气温日较差均呈正相关，与日平均气温、日平均相对湿度、日最高气温、日最低气温呈负相关；酚氨比与日平均气温、日平均相对湿度、日最高气温、日最低气温呈正相关，与日平均日照时数、平均气温日较差呈负相关。结果表明，气象因子对不同的茶树品种

的品质相关性是一致的，影响时段略有差异，具有显著的生物学意义。

2.2　崂山茶气候品质影响指标的确定

根据茶叶生化成分的实测值和气象资料建立茶叶气候品质指标模型，借鉴黄嘉佑等[28-32]的方法，分别以茶多酚、氨基酸含量和酚氨比作为因变量，以每个因变量分别对应的表1和表2中影响显著的气象因子作为自变量建立回归模型，通过逐步回归筛选气象因子，根据气象因子的方差贡献逐步引入并剔除部分因子，通过F检验，确定最优方程，建立2个茶树品种3种生化成分与气象因子的回归方程。

表1　群体种生化成分与气象因子的相关显著性及影响时段

生化成分	相关系数/影响时段	日平均气温	日平均相对湿度	日平均日照时数	平均气温日较差	日最高气温	日最低气温
茶多酚	相关系数	0.314*~0.292*	0.307*~0.567**	−0.289*~−0.436**	−0.335*~ −0.423**	–	0.294*~0.387**
	影响时段	3~4 d	1~11 d	6~12 d	2~12 d	–	2~4 d
氨基酸	相关系数	−0.578*~ −0780**	−0.315*~ −0.629**	0.294*~0.367*	0.321*~0.427**	−0.386**~−0.735**	−0.619**~−0.768**
	影响时段	1~13 d	1~15 d	2~14 d	2~15 d	2~15 d	1~15 d
酚氨比	相关系数	0.596**~0.797**	0.647**~0.715**	−0.306*~ −0.527**	−0.292*~−0.502**	0.387**~0.708**	0.659**~0.783**
	影响时段	1~13 d	1~15 d	2~13 d	2~15 d	1~15 d	1~15 d

注：**、*分别表示相关系数达到0.01、0.05显著性检验水平；–表示相关系数未达到0.05显著性检验水平；1~15 d表示茶叶采摘日前1，2，3，…，15 d。下同。

表2　龙井43生化成分与气象因子的相关显著性及影响时段

生化成分	相关系数/影响时段	日平均气温	日平均相对湿度	日平均日照时数	平均气温日较差	日最高气温	日最低气温
茶多酚	相关系数	–	0.378*~0.428**	−0.350*	−0.377*~−0.528**	–	0.311*~0.322*
	影响时段	–	3~11 d	11 d	4~12 d	–	9~10 d
氨基酸	相关系数	−0.659**~−0.797**	−0.340*~ −0.736**	0.460**, 0.399**	0.336*~0.555**	−0.538**~−0.751**	−0.661**~−0.753**
	影响时段	1~15 d	1~15 d	7，14 d	1~15 d	1~15 d	1~15 d
酚氨比	相关系数	0.708**~0.801**	0.309*~0.730**	−0.478**, ~0.403**	−0.367*~−0.619**	0.582**~0.710**	0.703**~0.811**
	影响时段	1~15 d	1~15 d	7，14 d	1~15 d	1~15 d	1~15 d

注：7、12 d表示采茶日前第7和第14天。

2.2.1　*群体种气候品质回归模型*　群体种引入表1中影响显著的气象因子，得到回归模型。

茶多酚：$\hat{y}_1=5.055U_2-3.083S_6+30.467$　　(1)

式(1)中，U_2表示采茶日前2 d的日平均相对湿度，S_6表示采茶日前6 d的日平均日照时数。

氨基酸：$\hat{y}_2=0.550S_2-1.428T_4-0.747TG_{11}-0.655\triangle T_{12}+4.745$　　(2)

式(2)中，S_2表示采茶日前2 d的日平均日照时数，T_4表示采茶日前4 d的日平均气温，TG_{11}表示采茶日前11 d的日最高气温，$\triangle T_{12}$表示采茶日前12 d的平均气温日较差。

酚氨比：$\hat{y}_3=3.728TD_8+2.264U_6-1.825\triangle T_{14}+6.842$　　(3)

式(3)中，TD_8表示采茶日前8 d的日最低气温，U_6表示采茶日前6 d的日平均相对湿度，$\triangle T_{14}$表示采茶日前14 d的平均气温日较差。

2.2.2　*龙井43气候品质回归模型*　龙井43引入表2中影响显著的气象因子，得到回归模型。

茶多酚：$\hat{y}_4=2.962U_3-7.477\triangle T_{12}+32.71$　　(4)

式(4)中，U_3表示采茶日前3 d的日平均相对湿度，$\triangle T_{12}$表示采茶日前12 d的平均气温日较差。

氨基酸：$\hat{y}_5=1.365TD_{12}+1.3TG_8-4.233T_{11}-0.843U_6+5.129$　　(5)

式(5)中，TD_{12}表示采茶日前12 d的日最低气温，TG_8表示采茶日前8 d的日最高气温，T_{11}表示采茶日前11 d的日平均气温，U_6表示采茶日前6 d的日平均相对湿度。

酚氨比：$\hat{y}_6=2.692U_8+5.289TD_9+4.933$　　(6)

式(6)中，U_8表示采茶日前8 d的日平均相对湿度，TD_9表示采茶日前9 d的日最低气温。

通过上述回归分析可知，影响崂山茶群体种茶多酚含量的气象因子主要是日平均相对湿度和日平均日照时数，影响氨基酸含量的气象因子为日平均日照时数、日平均气温、日最高气温和平均气温日较差，影响酚氨比的气象因子为日最低气温、平均气温日较差和日平均相对湿度；而影响龙井43茶多酚含量的气象因子为日平均相对湿度和平均气温日较差，影响氨基酸含量的气象因子为日平均气温、日最低气温、日最高气温和日平均相对湿度，影响酚氨比的主要气象因子为日最低气温和日平均相对湿度。由此可知，气候条件对不同茶树品种的影响因子和影响时段存在明显差异。

2.3 崂山茶气候品质回归模型的检验

群体种和龙井43 各选取3个样本用于回归模型的检验，其中群体种随机选取2022年6月5日（春茶）、2023年8月10日（夏茶）、2023年9月24日（秋茶）的样本进行检验；龙井43品种随机选取2022年5月22日（春茶）、2023年8月10日（夏茶）、2023年10月4日（秋茶）的样本进行检验。

2.3.1 *群体种回归模型的检验* 将样本的茶多酚含量检测值分别代入式（1）中，经检验，2022年6月5日样本茶多酚含量的预报值为34.47%，实测值为31.09%，预报准确率为89.13%；2023年8月10日样本茶多酚含量的预报值为31.60%，实测值为32.09%，预报准确率为98.47%；2023年9月24日样本茶多酚含量的预报值为30.69%，实测值为30.12%，预报准确率为98.11%，春茶、夏茶和秋茶3个样本平均预报准确率为95.24%。同理，将样本的氨基酸含量检测值分别代入式（2）中，经检验春茶、夏茶和秋茶3个样本平均预报准确率为87.13%；将样本的酚氨比检测值分别代入式（3）中，经检验春茶、夏茶和秋茶3个样本的平均预报准确率为94.14%。

2.3.2 *龙井43回归模型的检验* 将样本的茶多酚含量检测值分别代入式（4）中，经检验，2022年5月22日样本茶多酚含量的预报值为30.02%，实测值为29.18%，预报准确率为97.12%；2023年8月10日茶多酚含量的预报值为32.23%，实测值为32.02%，预报准确率为99.34%；2023年10月4日茶多酚含量的预报值为29.50%，实测值为27.63%，预报准确率为93.23%，春茶、夏茶和秋茶3个样本的平均预报准确率为96.56%。同理，将样本的氨基酸含量检测值分别代入式（5）中，经检验，春茶、夏茶和秋茶3个样本的平均预报准确率为88.73%；将样本的酚氨比检测值代入式（6）中，经检验春茶、夏茶和秋茶3个样本的平均预报准确率为93.04%。

通过检验可知，本研究建立的6个预报模型效果显著，可以采用式（1）~式（6）预报崂山茶的茶多酚、氨基酸含量和酚氨比。

2.4 崂山茶气候品质评价指标的建立

2.4.1 *茶叶气候品质指标的划分* 采用式（3）和式（6）预报崂山茶酚氨比的阈值，通过聚类分析法划分崂山茶酚氨比的不同等级，再根据感官评价、酚氨比阈值对应的气象资料，建立崂山茶气候品质评价指标[18-20]。

酚氨比是茶多酚含量与氨基酸含量的比值，它是表征茶叶品质的生化指标，通常情况下，茶叶的酚氨比越低，表明茶叶的品质越高。本研究对茶叶的主要生化成分酚氨比进行K均值聚类分析，按照酚氨比由低到高把崂山茶群体种（47个样本）和龙井43(41个样本)的气候品质划分成4个等级：1类（特优）、2类（优）、3类（良好）、4类（一般）。采用欧式距离计算组内距离，分别经过五次迭代达到收敛。欧式距离计算公式为：

$$d(x,y)^2=\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)=\|x-y\|_2^2 \tag{7}$$

式（7）中，x和y分别表示不同的2个样本，n表示样本的维度（特征的数量），本例中令n=4，基于欧式距离，通过K-Means算法使得簇内误差平方和达到最小。

通过对群体种2022—2023年不同时段47个采茶样本的酚氨比进行聚类分析（表3）可知，群体种样本划分为1类的有13个，2类的有20个，3类的有13个，4类的仅有1个。从时间上来看，春 季4月21日 至5月29日、秋 季9月17—29日，气温偏低，群体种的酚氨比较低，茶叶的品质最高，为1类；6月1—29日、8月24日 至9月16日、9月30日至10月中旬，茶叶的品质次之，为2类；6月30日至8月10日，夏季随着气温的逐渐升高，日照时数和日照强度逐渐增强，酚氨比逐渐增高，茶叶的品质逐渐降低，为3类；8月11—23日正值一年中最热的伏天，日平均气温在27~28 ℃，日最高气温在30 ℃左右，日平均相对湿度通常在90%以上，并且日照时数通常大于10 h，日照强度较高，酚氨比最高，茶叶的品质最差，为4类。由此可见，茶叶的品质受气候条件的制约，具有显著的生物学意义。

表3　群体种聚类分析结果

采茶日期/(年/月/日)	编号	酚氨比	等级	欧式距离
2022/4/21	1	6.43	1类	0.512
2022/4/29	2	7.38	1类	0.438
2022/5/8	3	7.63	1类	0.688
2023/5/8	4	5.75	1类	1.192
2023/5/15	5	6.85	1类	0.092
2022/5/19	6	6.83	1类	0.112
2023/5/22	7	7.39	1类	0.448
2022/5/24	8	6.67	1类	0.272
2022/5/29	9	6.57	1类	0.372
2023/5/29	10	7.63	1类	0.688
2022/6/1	11	8.85	2类	0.447
2023/6/2	12	8.54	2类	0.757
2022/6/5	13	8.23	2类	1.067
2023/6/5	14	7.30	1类	0.358
2023/6/8	15	9.50	2类	0.203
2022/6/15	16	10.87	3类	0.615
2023/6/15	17	9.49	2类	0.193
2022/6/22	18	9.55	2类	0.253
2023/6/22	19	9.08	2类	0.217
2022/6/29	20	9.65	2类	0.353
2023/6/29	21	10.65	3类	0.835
2022/7/3	22	12.07	3类	0.585
2023/7/3	23	12.39	3类	0.905
2022/7/9	24	11.25	3类	0.235
2022/7/10	25	9.55	2类	0.253
2023/7/10	26	12.26	3类	0.775
2022/7/18	27	11.20	3类	0.285
2023/7/18	28	10.94	3类	0.545
2022/7/26	29	12.51	3类	1.025
2023/7/26	30	10.05	2类	0.753
2023/8/3	31	11.37	3类	0.115
2022/8/6	32	11.01	3类	0.475
2023/8/10	33	11.38	3类	0.105
2022/8/13	34	13.97	4类	0.000
2023/8/17	35	9.40	2类	0.103
2022/8/20	36	11.40	3类	0.085
2023/8/24	37	9.42	2类	0.123
2023/8/31	38	8.50	2类	0.797
2023/9/8	39	9.61	2类	0.313
2023/9/16	40	9.39	2类	0.093
2022/9/23	41	6.51	1类	0.432
2023/9/24	42	8.97	2类	0.357
2022/9/29	43	7.31	1类	0.368
2023/9/30	44	9.98	2类	0.683
2022/10/7	45	10.29	2类	0.993
2023/10/8	46	8.85	2类	0.447
2023/10/13	47	9.07	2类	0.227

通过对龙井43品种2022—2023年不同时段的41个采茶样本的酚氨比进行聚类分析(表4)可知，龙井43样本划分为1类的有15个，2类的有13个，3类的仅有1个，4类的有12个。从时间上来看，4月12日至5月22日为1类，酚氨比最低、茶叶的品质最优；5月23日至6月18日、秋季9月11日至10月10日为2类；6月19日至7月19日、8月17日至9月10日，茶叶的品质为3类；7月20日至8月16日，酚氨比最高，品质最差，为4类。

表4　龙井43聚类分析结果

采茶日期/(年/月/日)	编号	酚氨比	等级	欧式距离
2022/4/12	1	5.79	1类	0.512
2022/4/21	2	5.84	1类	0.438
2022/4/27	3	7.32	1类	0.688
2022/5/6	4	7.14	1类	1.192
2023/5/8	5	6.50	1类	0.092
2022/5/13	6	8.37	1类	0.112
2023/5/15	7	6.92	1类	0.448
2022/5/19	8	6.92	1类	0.272
2022/5/22	9	7.74	1类	0.372
2023/5/22	10	6.85	1类	0.688
2022/5/29	11	10.81	4类	0.447
2023/5/29	12	9.00	4类	0.757
2023/6/2	13	8.78	4类	1.067
2023/6/5	14	9.42	1类	0.358
2023/6/8	15	9.42	4类	0.203
2022/6/12	16	10.72	2类	0.615
2023/6/12	17	8.90	4类	0.193
2022/6/19	18	11.90	4类	0.253
2023/6/19	19	9.82	4类	0.217
2022/6/26	20	11.29	4类	0.353
2023/6/26	21	12.46	2类	0.835
2023/7/5	22	10.57	2类	0.585
2022/7/12	23	11.55	2类	0.905
2023/7/12	24	9.01	2类	0.235
2022/7/13	25	11.44	4类	0.253
2023/7/19	26	9.89	2类	0.775
2023/7/26	27	12.24	2类	0.285
2023/8/3	28	12.13	2类	0.545
2022/8/10	29	12.42	2类	1.025
2023/8/10	30	12.61	4类	0.753
2023/8/14	31	9.94	2类	0.115
2022/8/17	32	13.76	2类	0.475
2023/8/17	33	10.28	2类	0.105
2022/8/26	34	10.56	3类	0.000
2022/9/1	35	11.84	4类	0.103
2023/9/1	36	9.86	2类	0.085
2023/9/10	37	11.08	4类	0.123
2023/9/17	38	8.96	1类	0.797
2023/9/25	39	7.53	1类	0.313
2023/10/4	40	8.55	1类	0.093
2022/10/6	41	11.00	1类	0.432

2.4.2 茶叶气候品质指标的确定 根据群体种、龙井43聚类样本列表、样本距离各中心点的距离、方差分析表把酚氨比划分为4个等级。结合2022—2023年崂山区气象要素的具体数值及统计的茶芽等级，综合分析影响崂山茶群体种群及龙井43的影响因素。根据酚氨比阈值、气象指标、感官评价（茶芽等级）分别建立了崂山茶群体种、龙井43全年气候品质评价指标，具体见表5和表6。

由表5可知，崂山茶群体种4月21日至5月底、9月17日至9月29日气候品质评价为特优；6月、8月24日至9月16日、9月30日至10月中旬为优；7月至8月上旬为良好；8月中旬至8月23日为一般。

由表6可知，崂山茶龙井43品种4月12日至5月22日气候品质评价为特优；5月23日至6月18日、9月11日至10月上旬为优；6月19日至7月19日、8月17日至9月10日为良好；7月下旬至8月16日为一般。

表5 群体种全年气候品质评价指标

项目	酚氨比/%			
	5.75~8.00	8.00~10.50	10.50~12.40	12.40~15.00
气象指标	*TD*：9.0~19.0 *U*：50%~60%或60%~80% △*T*：6.0~11.0	*TD*：15.0~20.0 *U*：60%~95% △*T*：4.0~14.0	*TD*：20.0~26.0 *U*：80%~100% △*T*：3.0~9.0	*TD*：23.0~27.0 *U*：85%~95% △*T*：4.0~8.0
茶芽等级	1	2	3	4
采茶时段	4月21日—5月31日 9月17日—9月29日	6月1日—6月29日 8月24日—9月16日 9月30日—10月13日	6月30日—8月10日	8月11日—8月23日
气候品质评价	特优	优	良好	一般

表6 龙井43全年气候品质评价指标

项目	酚氨比/%			
	5.70~8.50	8.50~10.20	10.20~12.00	12.00~15.00
气象指标	*TD*：5.0~15.0℃ *U*：40%~70%	*TD*：14.0~21.0℃ *U*：70%~85%	*TD*：19.0~25.0℃ *U*：75%~90%	*TD*：22.0~29.0℃ *U*：80%~90%
茶芽等级	1	2	3	4
采茶时段	4月12日—5月22日	5月23日—6月18日 9月11日—10月10日	6月19日—7月19日 8月17日—9月10日	7月20日—8月16日
气候品质评价	特优	优	良好	一般

由表5和表6可以看出，群体种的气候品质主要与采茶日前的日最低气温（*TD*）、空气的日平均相对湿度（*U*）和平均气温日较差（△*T*）相关，而龙井43的气候品质与采茶日前的日最低气温（*TD*）、空气的日平均相对湿度（*U*）相关。可见茶叶的气候品质受茶树品种的影响，不同的茶树品种气候品质评价指标存在显著差异。根据本研究建立的茶叶品质评价指标，可通过酚氨比预报模型的不同阈值来预报崂山茶气候品质的等级，开展茶叶气候品质评价与服务。但是由于每年气候条件存在不同，预报时段也会存在一定的差异。

3 结论与讨论

崂山茶的主要品种有群体种和龙井43，为了研究气候条件对不同茶树品种品质的影响，划分出群体种和龙井43的茶叶气候品质等级，通过连续2年采集茶叶的主要生化成分茶多酚、氨基酸含量和酚氨比与采摘日前1~15 d的气象资料统计分析，得出以下结论。

（1）崂山茶的茶多酚、氨基酸含量和酚氨比与采茶日前1~15 d的主要气象因子进行相关性分析，得出其影响显著的气象因子及影响时段，不同茶树品种的相关性气象因子是一致的，但影响时段存在差异；通过回归分析建立了茶多酚、氨基酸含量和酚氨比与气象因子的最优回归模型并通过检验；通过聚类分析，根据酚氨比的阈值划分出崂山茶叶品质的4个等级，并根据酚氨比不同等级对应的气象因子建立了崂山茶气候品质评价指标，评价指标具有显著的生物学意义，可操作性强。

（2）对比群体种和龙井43气候品质评价指标可知：群体种的品质总体优于龙井43，2个茶树品种春茶最优，秋茶次之，夏茶品质较差，6月上旬之前、9月之后适宜加工为崂山绿茶，7—8月适宜加工为崂山红茶。

（3）对本研究建立的崂山茶气候品质评价指标与《茶叶气候品质评价》[4]标准的对比分析发现，日平均气温对茶叶品质的影响基本一致，而日平均日照时数存在明显差异。气象行业标准认为，采茶日前1~15 d 的日照时数对茶叶的气候品质影响显著，而日照时数对崂山茶2个品种的品质影响不显著。日平均相对湿度对崂山茶品质的影响则相反，气象行业标准认为，当日平均相对湿度为80%~90%时，茶叶的品质最优，而崂山茶品质最优时日平均相对湿度介于40%~70%之间，当日平均相对湿度为80%~90%时，正是7月中下旬至8月中旬，此时崂山茶品质最差。说明江南茶区与江北茶区由于茶树的生长期与采摘期均存在较大差异，因地理纬度、气候条件差异较大，南方茶园适宜的评价指标在北方茶园不一定适用。

（4）本研究建立的气候品质评价指标基本反映了崂山茶气候品质等级，可应用于青岛茶区或山东半岛沿海茶区开展茶叶气候品质评价与服务，但仅用2年的试验数据样本数量偏少，本研究未考虑到气象灾害对茶叶品质的影响，还要继续增加检测样本，不断完善评价指标，气候品质分类才会更加科学、合理。

参考文献：

[1] 刘灼梧，徐芳，吴健华，等.我国茶叶气候品质认证技术发展现状分析[J].茶叶，2020,46(3):153-155.

[2] 娄伟平，孙科.浙江茶叶气象[M].北京：气象出版社，2013:25-33.

[3] 娄伟平，吴利红，孙科，等.春季龙井茶叶气候品质认证[J].气象科技，2014,42(5):945-950.

[4] 中国气象局.茶叶气候品质评价：QX/T 411—2017[S].北京：气象出版社，2017.

[5] 刘瑞娜，陈金华，曹雯，等.基于气候指数的安徽省茶叶气候品质评价[J].生态学杂志，2019,38(2):612-618.

[6] 王雨思，吴凡，陈国栋，等.2011—2019年阿拉尔垦区棉纤维品质变化的关键气候驱动因子分析[J].江西农业学报，2023,35(5):109-115.

[7] 陶瑶，杨爱萍，林志坚，等.气候变暖背景下修水县春茶气候品质等级变化趋势分析[J].气象与减灾研究，2020,43(3):221-227.

[8] 陈婷，刘昕露，王白娟.高压脉冲电场在云南普洱茶中的应用研究进展[J].江西农业学报，2023,35(7):121-126.

[9] 武强，王旭，罗慈慈，等.巴南银针产区茶叶气候适宜性与气候品质评价[J].气象科技，2021,49(3):475-482.

[10] 孙扬越，李军，周涛，等.上海市金山区蟠桃气候品质评价模型[J].江西农业学报，2023,35(8):62-67.

[11] 黄雄，林天扬，黄德华.2019年柘荣县石山洋茶园春夏季茶叶气候品质分析[J].福建热作科技，2021,46(2):24-25,28.

[12] 江胜国，朱一鸣，秦伟，等.应用模糊评判法建立农产品气候品质评价模型[J].湖北农业科学，2022,61(13):47-50,57.

[13] Guo Y H, Yang X T, Wang H L, et al. Study on the establishment of quality discrimination model of Longjing 43 green tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze)[J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2022, 31: 100389. DOI:10.1016/j.jarmap.2012.100389.

[14] Zhao X Y, He Y X, Zhang H T, et al. A quality grade classification method for fresh tea leaves based on an improved YOLOv8x-SPPCSPC-CBAM model[J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 4166. DOI:10.1038/s41598-024-54389-y.

[15] Pongsuwan W, Bamba T, Yonetani T, et al. Quality prediction of Japanese green tea using pyrolyzer coupled GC/MS based metabolic fingerprinting[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(3): 744-750.

[16] Chen R H, Lai X F, Wen S, et al. Analysis of tea quality of large-leaf black tea with different harvesting tenderness based on metabolomics[J]. Food Control, 2024, 163: 110474. DOI:10.1016/j.foodcont.2024.110474.

[17] Shan X J, Jiang Y W, Zhang S, et al. Key umami taste contributors in Longjing green tea uncovered by integrated means of sensory quantitative descriptive analysis, metabolomics, quantification analysis and taste addition experiments[J]. Food Chemistry, 2024, 453: 139628. DOI:10.1016/j.foodchem.2024.139628.

[18] Xu C H, Liang L, Li Y H, et al. Studies of quality development and major chemical composition of green tea processed from tea with different shoot maturity[J]. LWT, 2021, 142: 111055. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111055.

[19] Chen D Q, Ji W B, Granato D, et al. Effects of dynamic extraction conditions on the chemical composition and sensory quality traits of green tea[J]. LWT, 2022, 169: 113972. DOI:10.1016/j.lwt.2022.113972.

[20] Ge S B, Wang Y M, Shen K Y, et al. Effects of differential shading on summer tea quality and tea gar-

den microenvironment [J]. Plants, 2024, 13(2): 202. DOI:10.3390/plants13020202.

[21] 李欣,王培娟,唐俊贤,等.江南华南茶树高温热害等级指标及分布特征[J].应用气象学报,2024,35(1):57-67.

[22] Wei R, Li Q H, Hu X L, et al. Comprehensive analysis of environmental factors on the quality of tea (*Camellia sinensis* var. *sinensis*) fresh leaves [J]. Scientia Horticulturae, 2023, 319: 112177. DOI:10.1016/j.scienta.2023.112177.

[23] Layomi S J, Kumar L. Potential impact of the current and future climate on the yield, quality, and climate suitability for tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]: A systematic review [J]. Agronomy, 2021, 11(4): 619. DOI:10.3390/agronomy11040619.

[24] 王宇翔,李树岩,易伟霞.南阳市丹桂开花与气温的关系研究[J].气象与环境科学,2023,46(3):65-71.

[25] 中国标准化协会.茶叶品鉴 崂山绿茶、红茶和白茶:T/CAS 339-2019[S].

[26] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法:GB/T 8313—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.

[27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.茶游离氨基酸总量的测定:GB/T 8314—2013[S].北京:中国标准出版社,2013.

[28] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].3版.北京:气象出版社,2004:44-55.

[29] 刘春涛,魏明明,郭丽娜.气象要素对崂山茶叶产量影响研究[J].中低纬山地气象,2018,42(1):57-60.

[30] 刘维,宋迎波.基于气象要素的逐日玉米产量气象影响指数[J].应用气象学报,2022,33(3):364-374.

[31] 刘军,陈正洪,刘阳,等.基于气象因子的"清江源"烟区烤烟烟碱含量预测模型研究[J].气象与环境科学,2023,46(6):32-38.

[32] 王丽娟,陈正洪,任永建,等.鄂西烟区低温、连阴雨对烤烟烟叶化学成分与产量的影响[J].气象与环境科学,2023,46(6):66-74.

(责任编辑:管珊红)