

汪天颖, 李民华, 吴重池, 等. 丘陵山区黄桃气候品质等级评价模型. 应用气象学报, 2024, 35(4): 456-466.

DOI: 10.11898/1001-7313.20240406

丘陵山区黄桃气候品质等级评价模型

汪天颖¹⁾²⁾ 李民华³⁾⁴⁾* 吴重池³⁾⁴⁾ 黄安凤³⁾⁴⁾

杨昌顺⁵⁾ 杨嫔玲³⁾⁴⁾ 汪天柯⁶⁾

¹⁾(湖南省气象科学研究所, 长沙 410118)

²⁾(气象防灾减灾湖南省重点实验室, 长沙 410118)

³⁾(湖南省怀化市气象局, 怀化 418000)

⁴⁾(湖南省怀化市水果气候品质鉴定重点实验室, 怀化 418000)

⁵⁾(湖南省株洲市炎陵县气象局, 株洲 412500)

⁶⁾(湖南省岳阳市岳阳县气象局, 岳阳 414100)

摘 要

利用 2019—2023 年罗霄山脉中段和雪峰山西侧 221~1300 m 海拔高度间的黄桃品质观测数据, 采用加权求和、相关系数、回归分析、多重共线性分析等方法, 构建黄桃气候品质评价指标及主要品质要素气象因子回归模型, 并进行独立样本检验, 基于模型分析不同海拔高度和采收日期条件下黄桃气候品质等级的时空变化特征。结果表明: 黄桃品质要素可溶性固形物含量、可滴定酸含量、果形指数对应主要气象影响因子分别为采收前 80 d 平均气温、采收前 40 d 总降水量、5 月上旬至 6 月上旬平均气温及总降水量与采收前 10 d 平均气温及总降水量, 对应气象因子模型的验证样本平均绝对偏差分别为 0.397%、0.093%、0.010, 均方根误差分别为 0.072%、0.014%、0.001, 相关系数分别为 0.649($p=0.05$)、0.718($p=0.01$)、0.957($p=0.01$), 品质评价等级验证完全一致的模型准确率为 75%。由模型得到黄桃品质等级为特优及优的总频率随海拔升高、采收日期推移均呈先升后降的趋势, 其中 600~820 m 海拔地区与 7 月底至 8 月上旬采收的特优品质频率最高。

关键词: 丘陵山区; 黄桃品质; 气象影响因子; 定量模拟; 时空变化特征

引 言

黄桃是蔷薇科桃属植物, 喜温光, 果肉呈金黄色, 果实较大, 果香浓郁, 可溶性固形物含量(S_s)较高^[1-2], 口味酸甜, 具有较优的食用品质、经济价值^[3]和较强耐寒耐旱能力^[4], 一般采用套袋栽培, 有利于提高果面光洁度、增强果色^[5], 广泛种植于湖南、浙江、安徽、山东、上海等地区。在湖南海拔 1400 m 以下的丘陵山区均有种植, 黄桃特色产业已成为当地乡村振兴的支柱产业^[6]。然而作为露天栽培林果, 黄桃品质受气候条件影响显著, 尤其是山区, 由于海

拔、坡向、坡度等地形因子影响, 小尺度山地气候多样^[7], 造成不同地区、不同海拔高度的黄桃品质差异明显^[8]。因此亟需开展黄桃气候品质评价指标研究, 建立品质要素的气象因子回归模型, 为保障黄桃高品质生产、合理规划布局提供重要技术支撑。

近年针对苹果^[9-10]、梨^[11-12]、柑橘^[13]、猕猴桃^[14]等特色经济林果的气候影响指标研究已取得较多成果, 主要分析年、季节、物候期、旬尺度气象因子对果树产量、品质的影响, 有效助力特色林果产品市场竞争力的提升。目前针对黄桃气象产量、高温低湿等气象灾害对黄桃生产的影响已取得初步成果^[15-17], 但黄桃气候品质评价及气象因子模型研究鲜见报道。

2024-03-22 收到, 2024-06-03 收到再改稿。

资助项目: 湖南省气象局重点项目(XQKJ20A003)

* 通信作者, 邮箱: lmh2730255@163.com

在桃属鲜果的气候影响方面,人们以水蜜桃、蟠桃、血桃为研究对象进行主要气象影响因子研究。杨栋等^[18]利用 Monte Carlo 法和 TS(threat score)评分分析法,基于旬、候、月尺度气象因子构建浙江水蜜桃气候品质评价模型,其中入选最多的因子为候、旬尺度气象要素。孙扬越等^[19]采用相关系数普查、多元线性回归与加权求和等方法得到影响蟠桃 S_s 及单果重的主要气象因子为着色成熟期气温日较差、采摘前 43 d 平均日最低气温、膨大期降水量。魏华兵等^[20]采用 TS 评分法构建血桃的气候品质指标,选取的主要气象因子分别为果实膨大期前 3 候的平均气温、累计日较差、日照时数以及果实成熟期前 3 候的日照时数、降水量、相对湿度。相关成果通过独立样本或回代检验,具有较好应用价值。

本研究针对丘陵山区发展黄桃产业的迫切需要,在湖南湘西、湘东山区开展不同海拔高度黄桃品质试验观测,运用多种数理统计方法,建立黄桃气候品质评价指数,确定主要气象影响因子及其关键影响时段,构建主要品质气象因子回归模型,采用独立样

本检验,讨论不同海拔高度与采收日期对黄桃气候品质等级的影响特征,可为黄桃品质气候评价服务提供技术支撑,为黄桃高品质栽培调控与气候适宜性区划提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 数 据

观测区位于罗霄山脉中段(湖南省株洲市炎陵县)和雪峰山西侧(湖南省怀化市洪江市、中方县、鹤城区),属亚热带季风气候区。各观测果园详情见表 1 和表 2,其中炎陵县年平均气温为 17.9℃,年平均降水量为 1606.8 mm,年平均日照时数为 1564.6 h,试验基地位于 26.1°~26.6°N、113.7°~114.0°E,海拔高度为 221~1300 m;怀化市年平均气温为 17.2℃,年平均降水量为 1442.9 mm,年平均日照时数为 1369.9 h,地区试验基地位于 27.2°~27.7°N、109.8°~110.4°E,海拔高度为 230~820 m。供试品种为研究区的主栽黄桃品种“锦绣”,一般 3 月中旬始花,

表 1 2019—2020 年、2022 年罗霄山脉中段黄桃品质观测地点基本信息
Table 1 Basic information on yellow peach quality observation sites at the middle section of Luoxiao Mountains in 2019—2020 and 2022

样本点编号	所处乡镇	海拔高度/m	地理位置	样本点编号	所处乡镇	海拔高度/m	地理位置
L01	炎陵县霞阳镇	221	26.5°N、113.8°E	L14	炎陵县瓜寮村	900	26.6°N、114.0°E
L02	炎陵县霞阳镇	237	26.5°N、113.8°E	L15	炎陵县中村乡	900	26.1°N、113.7°E
L03	炎陵县霞阳镇	241	26.5°N、113.8°E	L16	炎陵县茆溪乡	960	26.4°N、113.9°E
L04	炎陵县沔渡镇	310	26.6°N、113.9°E	L17	炎陵县中村乡	980	26.1°N、113.7°E
L05	炎陵县霞阳镇	390	26.6°N、113.8°E	L18	炎陵县中村乡	1000	26.2°N、113.8°E
L06	炎陵县霞阳镇	433	26.5°N、113.8°E	L19	炎陵县下村乡	1053	26.2°N、113.9°E
L07	炎陵县沔渡镇	500	26.5°N、113.9°E	L20	炎陵县仙坪村	1100	26.4°N、113.9°E
L08	炎陵县中村乡	510	26.2°N、113.8°E	L21	炎陵县中村乡	1100	26.1°N、113.7°E
L09	炎陵县中村乡	638	26.2°N、113.8°E	L22	炎陵县鑫山村	1100	26.2°N、113.9°E
L10	炎陵县茆溪乡	640	26.4°N、113.8°E	L23	炎陵县茆溪乡	1150	26.4°N、113.9°E
L11	炎陵县茆溪乡	678	26.4°N、113.9°E	L24	炎陵县鸢峰村	1200	26.2°N、113.9°E
L12	炎陵县茆溪乡	780	26.4°N、113.9°E	L25	炎陵县鑫山村	1300	26.1°N、113.9°E
L13	炎陵县沔渡镇	860	26.5°N、113.9°E	L26	炎陵县酃峰村	1300	26.3°N、114.0°E

表 2 2019—2023 年雪峰山西侧黄桃品质观测地点基本信息
Table 2 Basic information of yellow peach quality observation sites in western side of Xuefeng Mountain in 2019—2023

样本点编号	所处乡镇	海拔高度/m	地理位置	样本点编号	所处乡镇	海拔高度/m	地理位置
X01	洪江市安江镇	230	27.3°N、110.1°E	X08	中方县中方镇	450	27.4°N、110.0°E
X02	中方县柘木镇	250	27.3°N、109.9°E	X09	中方县柘木镇	450	27.4°N、109.8°E
X03	洪江市黔城镇	250	27.2°N、109.8°E	X10	中方县铁坡镇	500	27.5°N、110.4°E
X04	中方县新建镇	320	27.5°N、110.2°E	X11	中方县花桥镇	580	27.7°N、110.2°E
X05	中方县花桥镇	320	27.7°N、110.2°E	X12	洪江市安江镇	650	27.4°N、110.1°E
X06	中方县花桥镇	400	27.6°N、110.3°E	X13	中方县沅阳镇	740	27.6°N、110.2°E
X07	洪江市安江镇	400	27.3°N、110.1°E	X14	鹤城区黄岩乡	820	27.4°N、110.1°E

7月下旬至8月中下旬成熟,采用套袋栽培^[5],株距为5 m×6 m,每株年氮、磷、钾施肥总量约为250 g、250 g、250 g。气象数据来源于湖南省气象信息中心,包括邻近观测果园的13个气象观测站2019—2023年4月1日—8月31日逐日最高气温、最低气温、平均气温、降水量。缺测数据采用缺测日的小时数据换算为日值进行插补。

1.2 品质要素测定方法

每个观测果园选取10株长势平均的果树,于果园果实成熟率为25%~70%时取20个树冠中部外围果实进行观测,样果冷藏贮藏并于36 h内完成品质测量。

S_s 与可滴定酸含量(A_T):以3~4个样果为1组,分别去皮、榨汁,用离心机分离果汁后,采用PAL-BX/ACID糖酸度计折射仪测量果汁清液的 S_s 、 A_T ,单位均为%^[21-22]。每组进行3次重复测量,取平均值。

果形指数(I_s):使用游标卡尺分别测量样果的横径(H)、纵径(V),单位为mm,则 $I_s=V/H$ ^[23]。

单果重(W):使用电子天平称量,单位为g。

1.3 黄桃品质要素气象因子模型构建

建立黄桃气候品质等级。采用加权求和法建立黄桃气候品质评价指标^[24],将品质要素划分为特优、优、良、一般4个等级,黄桃气候品质等级 I_Q 为

$$I_Q = \sum_{k=1}^n \alpha_k P_k \quad (1)$$

式(1)中: n 为黄桃气候品质要素数量, $n=3$; P_k 为各品质要素实测值所属区间对应的等级值,对特优、优、良、一般分别取值4、3、2、1; α_k 为各品质要素的权重。

黄桃品质观测数据为5年,采用80%数据(4年)为建模训练样本,20%数据(1年)为验证样本。使用2019年、2021—2023年的黄桃品质观测数据建模。

由于既有经济林果气候品质等级评价研究中遴选的气象影响因子主要为旬或跨旬尺度^[10-11,14,18,25],且旬尺度因子模型较月、候尺度精度更高^[18],本研究普查黄桃各品质要素与逐旬平均气温、最高气温、最低气温、日较差、总降水量的相关系数^[26-27],对相关性较高的旬尺度气象要素进行整合,筛选得到主要气象影响因子及关键影响时段。基于最小二乘法构建黄桃各品质要素的主要气象因子回归模型^[28],采用决定系数检验模型精度^[29],并对回归系数进行显著性 t -检验, $p>0.05$ 时回归系数不显著^[30]。

多因子共线性可造成多元线性回归模型对误差极度敏感,从而导致回归系数求解不稳定^[31],因此使用容忍值法^[32]和方差膨胀因子法^[33-34]对多因子回归模型进行共线性诊断,容忍值在0.1以下^[32]、方差膨胀因子在5以上^[35]时说明自变量间存在共线性问题。

1.4 模型检验及品质等级评价验证

利用2020年验证样本对构建的黄桃品质要素气象因子模型进行检验,采用平均绝对偏差^[36]、均方根误差^[37-38]、相关系数^[39]为准确度评价指标。

基于验证样本的气候品质评价,检验气象因子模型得到的气候品质等级与验证样本实际评级的一致性。

2 结果与分析

2.1 黄桃品质要素及分级

表3为2019—2023年79个采样批次的黄桃主要品质要素整体情况。由表3可见,黄桃 S_s 为10.40%~16.60%,平均值为13.79%,达到鲜桃果实品质特等标准^[40]; A_T 为0.29%~1.05%,平均值为0.62%; I_s 为0.91~1.18,平均值为1.03; W 为150.0~335.0 g,平均值为235.6 g。

表3 2019—2023罗霄山脉中段和雪峰山西侧黄桃主要品质要素

Table 3 Main quality indices of yellow peach at the middle section of Luoxiao Mountains and west side of Xuefeng Mountain in 2019—2023

统计量	$S_s/\%$	$A_T/\%$	I_s	W/g
最大值	16.60	1.05	1.18	335.0
最小值	10.40	0.29	0.91	150.0
平均值	13.79	0.62	1.03	235.6

鲜食黄桃主要感官品质为口感及形状,其中 S_s 是黄桃最关键的品质要素,含量越高品质越好,低于12%则食用品质显著下降; A_T 与果实风味关联紧

密; I_s 越高,尖端易出现损伤,越低则更似圆形、外观品质更好且利于贮存。此外,由于 W 受挂果量的影响明显^[41],因此选取黄桃 S_s 、 A_T 、 I_s 3个要素构

建黄桃品质气象因子回归模型。参考青枣^[24]、酿酒葡萄^[42]气候品质评价指标,结合专家意见,并结合黄桃的酸甜风味及果形特征,适当调整 S_S 、 A_T 、 I_S 权重,定义黄桃气候品质指数 $I_Q=0.5\times S_S+0.3\times$

$A_T+0.15\times I_S$,其中 S_S 、 A_T 、 I_S 以等级值表示,各品质要素值分级情况列于表 4。气候品质等级及对应的 I_Q 如下: $I_Q\geq 2.8$,为特优; $2.2\leq I_Q<2.8$,为优; $1.6\leq I_Q<2.2$,为良; $I_Q<1.6$,为一般。

表 4 黄桃各气候品质要素分级

Table 4 Ranking of each climatic quality element of yellow peach

指标	特优(等级值为 4)	优(等级值为 3)	良(等级值为 2)	一般(等级值为 1)
$S_S/\%$	$S_S\geq 14\%$	$13\%\leq S_S<14\%$	$12\%\leq S_S<13\%$	$S_S<12\%$
$A_T/\%$		$A_T<0.50\%$	$0.50\%\leq A_T<0.85\%$	$A_T\geq 0.85\%$
I_S		$I_S<1.05$	$1.05\leq I_S<1.10$	$I_S\geq 1.10$

2.2 黄桃各品质要素气象因子模型构建

分析黄桃 S_S 、 A_T 及 I_S 与开花期结束至采收期的逐旬气温、降水等气象因子的相关系数,整合相关性高的旬尺度气象要素,得到黄桃 S_S 与采收前 80 d 平均气温(T_{a80})呈良好的二次相关关系(图 1),拟合方程的决定系数为 0.621($p=0.01$); A_T 与采收前 40 d 总降水量(R_{40})的相关系数为 0.754($p=0.01$),拟合方程的决定系数为 0.569($p=0.01$); I_S 与 5 月上旬至 6 月上旬平均气温(T_{a5161})、5 月上旬至 6 月上旬总降水量(R_{5161})、采收前 10 d 平均气温(T_{a10})、采收前 10 d 总降水量(R_{10})的相关系数分别为 0.478($p=0.01$)、 -0.399 ($p=0.05$)、 0.353 ($p=0.05$)、 -0.329 ($p=0.05$),拟合方程的决定系数为 0.665($p=0.01$)。上述因子与对应品质要素构建的回归模型列于表 5,得到各回归系数的 t -检验 p

值均小于 0.05,通过显著性检验。

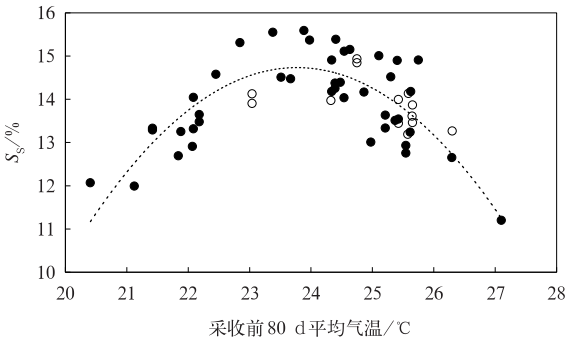


图 1 黄桃 S_S 与采收前 80 d 平均气温的关系
(实心圆为训练样本,空心圆为验证样本,下同)

Fig. 1 Relationship between soluble solids of yellow peach and average air temperature 80 d before harvesting (the solid circle denotes training sample, the hollow circle denotes testing sample, similarly hereinafter)

表 5 黄桃各品质要素气象因子回归模型

Table 5 Meteorological factor regression model for each yellow peach quality element

因变量	回归模型	决定系数
S_S	$S_S=-0.3151T_{a80}^2+14.9760T_{a80}-163.2390$	0.621*
A_T	$A_T=0.0009R_{40}+0.3428$	0.569*
I_S	$I_S=-0.0002R_{5161}+0.0087T_{a5161}-0.0004R_{10}+0.0103T_{a10}+0.6663$	0.665*

注: * 表示决定系数达到 0.01 显著性水平。

因 I_S 模型为多重线性回归模型,进一步对各因子进行共线性定量分析,得到该模型各气象因子的容忍值均大于 0.1,方差膨胀因子均小于 5(表 6),

即无明显共线性问题。 R_{5161} 、 T_{a5161} 、 T_{a10} 、 R_{10} 可用于该模型。

表 6 黄桃 I_S 模型气象因子共线性分析

Table 6 Covariance analysis of meteorological factors for yellow peach fruit shape index model

指标	R_{5161}	T_{a5161}	R_{10}	T_{a10}
容忍值	0.66	0.69	0.56	0.78
方差膨胀因子	1.53	1.46	1.80	1.28

2.3 模型验证

应用验证样本检验构建的模型,计算各品质要素的实测值与模拟值的统计特征(表 7)。由表 7 可见,模型模拟的 S_S 、 A_T 和 I_S 平均值分别为 13.943%、0.621%和 1.016,与实测值相比,平均绝对偏差分别为 0.397%、0.093%和 0.010,均方根误差分别为 0.072%、0.014%和 0.001,相关系数分别为 0.649

($p=0.05$)、0.718($p=0.01$)和 0.957($p=0.01$),且样本点较均匀地分布于 1:1 线附近(图 2),即整体上模型误差较小。
采用黄桃样本实际品质等级对构建的黄桃气候品质气象因子模型及评级进行验证,结果列于表 8。由表 8 可见,8 组验证样本中,完全符合的为 6 组,有 2 组相差 1 级,等级验证完全一致的模型准确率

表 7 黄桃各品质要素验证样本与模拟结果的特征

Table 7 Each quality characteristics of yellow peach between testing sample and simulation					
品质要素	实测平均值	模拟平均值	平均绝对偏差	均方根误差	相关系数
$S_S/\%$	13.904	13.943	0.397	0.072	0.649 *
$A_T/\%$	0.687	0.621	0.093	0.014	0.718 **
I_S	1.010	1.016	0.010	0.001	0.957 **

注: * 和 ** 分别表示相关系数达到 0.05 和 0.01 显著性水平。

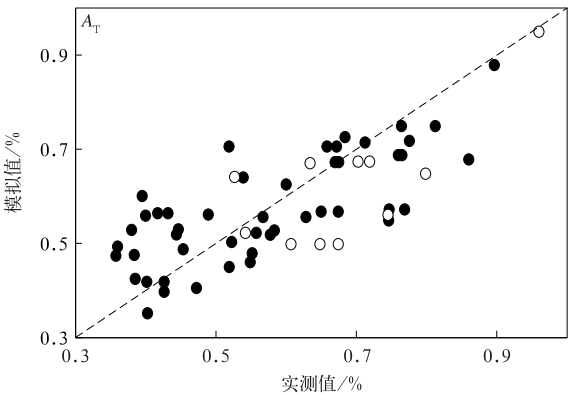
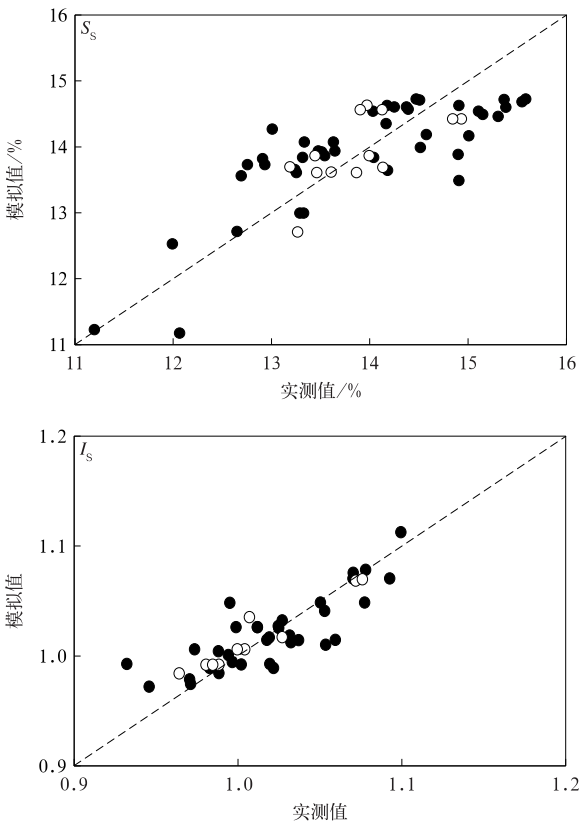


图 2 黄桃各品质要素实测值与模拟值关系
Fig. 2 Relationship of each yellow peach quality element between observation and simulation

表 8 黄桃气候品质等级评价模型验证

Table 8 Validation of the evaluation model for yellow peach climatic quality rating									
采收日期	观测地段	样本点编号	$S_S/\%$	$A_T/\%$	I_S	实际品质等级	模拟 I_Q	模拟品质等级	符合程度
2020-07-29	罗霄山脉中段	L07	13.61	0.77	1.13	优	2.40	优	符合
2020-08-03	罗霄山脉中段	L11	14.13	0.75	1.03	特优	3.05	特优	符合
2020-08-12	罗霄山脉中段	L18	13.90	0.65	1.00	优	3.05	特优	相差 1 级
2020-08-03	雪峰山西侧	X02	13.19	0.96	0.96	优	2.25	优	符合
2020-08-06	雪峰山西侧	X07	14.12	0.79	1.01	特优	2.55	优	相差 1 级
2020-08-09	雪峰山西侧	X08	13.46	0.70	1.00	优	2.55	优	符合
2020-08-13	雪峰山西侧	X11	13.87	0.62	1.09	优	2.40	优	符合
2020-08-08	雪峰山西侧	X12	14.88	0.81	1.01	特优	3.05	特优	符合

为75%。考虑未出现跨级差异,且存在差异的第2组和第8组样本 S_5 分别为14.12%和13.90%,实际品质等级均介于优-特优临界水平,说明构建的气象因子模型整体上可较准确地反映黄桃综合品质,在生产应用中具有较好实用性。

2.4 黄桃气候品质等级时空变化特征

2.4.1 黄桃气候品质等级随海拔高度变化

基于建立的气象因子模型,计算2019—2022年不同海拔高度黄桃平均采收日期的气候品质指数 I_Q 及对应气候品质等级,绘制黄桃各气候品质等级

随海拔高度的出现频率(图3),可知黄桃品质为优或以上等级的总出现频率随海拔呈先升后降的趋势。大部分观测海拔高度的黄桃气候品质等级在优或以上的总频率不低于 0.67 a^{-1} ,罗霄山脉中段500~1000 m、雪峰山西侧250~820 m海拔高度的黄桃品质等级均为优或以上,其中罗霄山脉中段600~800 m、雪峰山西侧650~820 m中高海拔地区黄桃品质等级均为特优。品质为良或以下的黄桃主要出现在罗霄山脉中段400 m低海拔和1300 m高海拔地区,总频率分别为 0.33 a^{-1} 和 0.75 a^{-1} 。

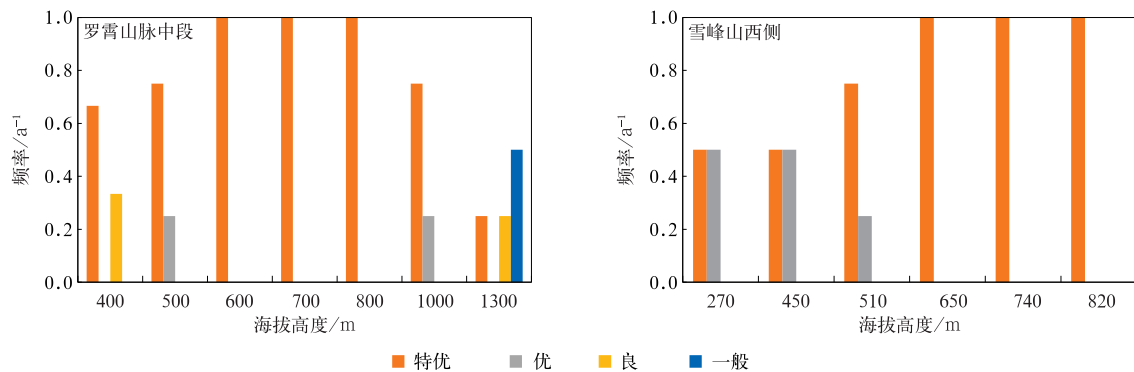


图3 黄桃气候品质等级随海拔高度的变化

Fig. 3 Yellow peach climatic quality ratings varying with altitude

2.4.2 黄桃气候品质等级随采收日期变化

计算2019—2022年不同采收日期下各海拔高度的 I_Q 及对应气候品质等级,绘制黄桃各气候品质等级随采收日期的出现频率(图4)。由图4可见,除特优品质出现频率随采收日期推移呈先升后降的趋势外,优或以下各等级均整体呈先降后升的趋势。大部分采收时段的黄桃气候品质为优或以上等级的总频率不低于 0.75 a^{-1} ,其中罗霄山脉中段

8月上旬至中旬、雪峰山西侧7月下旬至8月上旬采收品质为优或以上等级的总频率超过 0.85 a^{-1} ;研究地区7月底至8月上旬采收的特优品质出现频率最高,为 $0.67\sim 0.75\text{ a}^{-1}$ 。良或以下品质等级主要出现在罗霄山脉中段7月中下旬和8月下旬、雪峰山西侧8月中下旬采收时段,总频率为 $0.22\sim 0.26\text{ a}^{-1}$,其中品质为良的出现频率为 $0.14\sim 0.22\text{ a}^{-1}$ 。

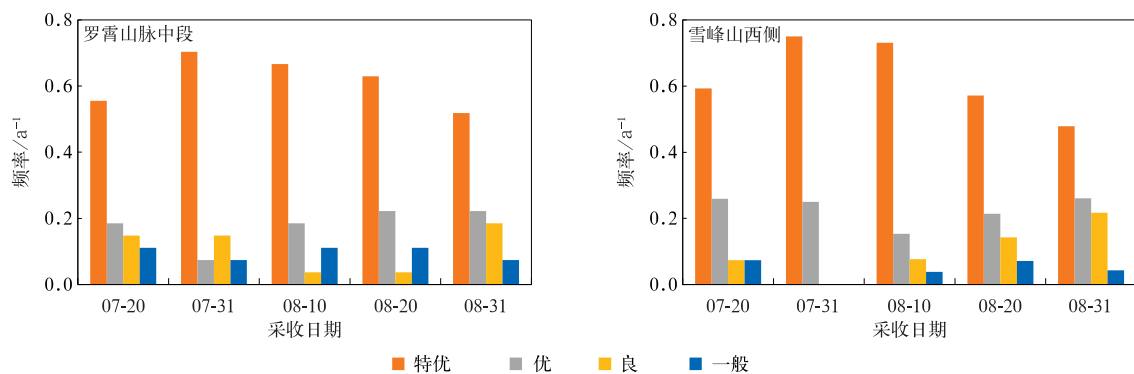


图4 黄桃气候品质等级随采收日期的变化

Fig. 4 Yellow peach climatic quality ratings varying with harvest date

3 结论与讨论

利用2019—2023年罗霄山脉中段和雪峰山西侧地区221~1300 m不同海拔高度开展的黄桃品质观测数据,结合气温、降水要素,采用相关系数、回归分析、多重共线性分析等方法,得到影响黄桃各品质要素的主要气象因子及影响时段,构建黄桃品质气象因子回归模型,进行独立样本检验,并利用模型分析黄桃气候品质等级的时空变化特征。得到主要结论如下:

1) 基于黄桃品质数据与开花期后至采收期气象要素的相关性,结合生产实际及专家意见,筛选得到黄桃关键气候品质要素及相应的主要气象影响因子:对于 S_s ,影响因子为采收前80 d平均气温;对于 A_T ,影响因子为采收前40 d总降水量;对于 I_s ,影响因子为5月上旬至6月上旬平均气温和总降水量、采收前10 d平均气温和总降水量。经过多重共线性诊断、回归系数 t -检验,构建黄桃气候品质各要素的气象因子回归模型。

2) 应用验证样本检验各品质要素模型,得到 S_s 、 A_T 、 I_s 的模拟值较实测值的平均绝对偏差分别为0.397%、0.093%、0.010,均方根误差分别为0.072%、0.014%、0.001,相关系数分别为0.649、0.718、0.957,均达到0.05显著性水平。品质评级验证显示,8组验证样本中有6组完全符合,2组相差1级,等级验证完全一致的模型准确率为75%。模型能较好反映黄桃实际品质。

3) 基于模型分析2019—2022年罗霄山脉中段、雪峰山西侧的黄桃气候品质等级,发现特优与优品质等级黄桃的总出现频率随海拔升高、采收日期推移均呈先升后降的趋势。罗霄山脉中段500~1000 m、雪峰山西侧250~820 m海拔高度的黄桃整体品质较好,其中600~820 m中高海拔地区的品质最佳。采收时段在7月底至8月上旬的特优品质黄桃频率最高;罗霄山脉中段7月中下旬和8月下旬、雪峰山西侧8月中下旬采收的良或以下品质等级黄桃的频率较高。

黄桃生长存在两个果实膨大时段,一为谢花后40 d,主要为果肉细胞分裂、数目增长,二为成熟采收前15 d,主要为细胞体积增长。本文构建的黄桃 I_s 模型因子为5月上旬至6月上旬及采收前10 d的平均气温和总降水量,与果肉细胞增长的时段相

符。王璐瑶等^[43]研究表明:水蜜桃 S_s 在5月下旬至采收期逐步上升, A_T 在采收前35~40 d呈较明显下降趋势,本研究发现黄桃 S_s 、 A_T 分别与5月中旬至成熟采收期的平均气温、采收前40 d总降水量相关显著。文中模型气象因子的选取时段符合生产实际,且独立样本模型检验显示气候品质等级评价与观测一致性较好,说明模型在黄桃气候品质要素定量化预测、气候品质评估等方面具有较好适用性。

2019—2023年罗霄山脉中段和雪峰山西侧黄桃平均 S_s 、 A_T 和 I_s 分别为13.79%、0.62%和1.03,气候品质达到优,属于适宜种植区。除气候条件外,土壤条件、栽培管理措施、品种等因素也对黄桃品质有影响,本文以地区主栽黄桃品种“锦绣”为供试材料,基于多个观测点的观测数据构建气象因子模型,可在一定程度上综合表征土壤、栽培水平等,模型显示气候品质随海拔增加呈先升后降,与苹果^[44]、芒果^[45]等经济林果品质受海拔影响的趋势相似,对于较低气候品质出现频率较高的地区,生产中可采用施有机基肥^[46]、修剪树形加强采光^[47],并结合采收前1个月适当增施钾肥^[48]、铺设防水膜^[49]等方式提升果实品质。由于山区的立体气候特征,垂直气候差异明显^[50],本研究通过考察,筛选出果园观测点附近能表征果园气候的基本站、区域站、果园小气候站的气象数据进行模型研究,模型应用中需注重选取气象站对种植地具备气候代表性。另一方面,黄桃品质形成关键期的不利气象条件可能造成显著影响,如2023年雪峰山西侧500~800 m海拔地区采收前80 d平均气温为23.9~26.0℃, S_s 仅为11.3%~12.5%,较其他年份明显偏低,这可能是由于成熟前多阵雨天气对果实膨大有利,但造成 S_s 下降^[19,47],此类不利气象条件对黄桃品质的影响程度及影响机制仍有待进一步开展试验研究。

参考文献

- [1] 杜卫东,席兴军,郭民主,等.鲜苹果 GB/T 10651—2008.北京: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,2008.
Du W D, Xi X J, Guo M Z, et al. Fresh Apple GB/T 10651—2008. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration, 2008.
- [2] 冯建华,徐新明,季向阳,等.鲜梨 GB/T 10650—2008.北京: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,2008.
Feng J H, Xu X M, Ji X Y, et al. Fresh Pears GB/T 10650—

2008. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration, 2008.
- [3] 王连军,王正伟,屠莉,等. 桃树的传粉特征及果实品质调查. 果树资源学报, 2022, 3(5): 12-14.
- Wang L J, Wang Z W, Tu L, et al. Pollination characteristics and fruit quality of peach tree. *J Fruit Resour*, 2022, 3(5): 12-14.
- [4] 苏天星,殷永明,张昭迪,等. 大冶市黄桃种植的气象条件关键技术研究. 农业技术与装备, 2021(7): 134-135.
- Su T X, Yin Y M, Zhang Z D, et al. Study on the key technology of meteorological conditions for yellow peach planting in Daye City. *Agric Technol Equip*, 2021(7): 134-135.
- [5] 洪莉,陈令会,曹锦萍,等. 套袋对南方暖地中晚熟桃果实品质的影响. 浙江农业科学, 2018, 59(7): 1178-1181.
- Hong L, Chen L L H, Cao J P, et al. Influences of bagging treatment on fruit quality of late mature peach varieties in South China. *J Zhejiang Agric Sci*, 2018, 59(7): 1178-1181.
- [6] 姚茂伦,谢天玮,曲耀荣,等. 乡村振兴背景下湖南省黄桃产业现状问题分析——以炎陵县为例. 农业与技术, 2022, 42(8): 126-128.
- Yao M L, Xie T W, Qu Y R, et al. Analysis on the current situation and problems of yellow peach industry in Hunan Province under the background of rural revitalization—Taking Yanling County as an example. *Agric Technol*, 2022, 42(8): 126-128.
- [7] 唐志红,尉秋实,刘虎俊,等. 祁连山东段高寒植被群落特征及其与地形气候因子关系研究. 生态学报, 2020, 40(1): 223-232.
- Tang Z H, Yu Q S, Liu H J, et al. Characteristics of alpine vegetation community and its relationship to topographic climate factors in the eastern Qilian Mountain. *Acta Ecol Sinica*, 2020, 40(1): 223-232.
- [8] 谢董妍,李潇,徐静,等. 不同产地黄桃营养品质评价. 浙江农业科学, 2023, 64(1): 25-28.
- Xie D Y, Li X, Xu J, et al. Evaluation of nutritional quality of yellow peach from different regions. *J Zhejiang Agric Sci*, 2023, 64(1): 25-28.
- [9] 李星敏,柏秦凤,朱琳. 气候变化对陕西苹果生长适宜性影响. 应用气象学报, 2011, 22(2): 241-248.
- Li X M, Bai Q F, Zhu L. The influence of climate change on suitability of Shaanxi apple growth. *J Appl Meteor Sci*, 2011, 22(2): 241-248.
- [10] 刘红,党晓东,贺亚亚,等. 影响陕西省延安市苹果产量的气象因子及气象灾害分析. 农业灾害研究, 2023, 13(8): 208-210.
- Liu H, Dang X D, He Y Y, et al. Analysis of meteorological factors and meteorological disasters affecting apple yield in Yan'an City, Shaanxi Province. *J Agric Catastrophology*, 2023, 13(8): 208-210.
- [11] 张皓,高慧莉,金风雷,等. 基于主成分分析的上海水晶梨气候品质评价与应用. 上海农业学报, 2023, 39(4): 47-54.
- Zhang H, Gao H L, Jin F L, et al. Evaluation and application of climatic quality for crystal pear in Shanghai based on principal component analysis. *Acta Agric Shanghai*, 2023, 39(4): 47-54.
- [12] 田晓婷,李瑞萍,荆肖军,等. 山西高原丘陵区酥梨气候品质评价标准研究. 山西农业科学, 2022, 50(7): 1030-1035.
- Tian X T, Li R P, Jing X J, et al. Evaluation standard of climate quality of crisp pears in plateau and hills of Shanxi Province. *J Shanxi Agric Sci*, 2022, 50(7): 1030-1035.
- [13] 李金强,李文云,柏自琴,等. 贵州山地气象因子与柑橘果实品质的相关性研究. 西南农业学报, 2013, 26(5): 2009-2012.
- Li J Q, Li W Y, Bai Z Q, et al. Study on relationship between meteorological factors and quality of citrus fruit in Guizhou mountainous areas. *Southwest China J Agric Sci*, 2013, 26(5): 2009-2012.
- [14] 陈曦,岳伟,徐建鹏,等. 猕猴桃主栽品种气候品质评价模型构建. 生态学报, 2021, 40(12): 4119-4127.
- Chen X, Yue W, Xu J P, et al. Evaluation model building for climatic quality of main kiwifruit cultivars. *Chinese J Ecol*, 2021, 40(12): 4119-4127.
- [15] 徐相明,顾品强,陈琛,等. 湿度偏低对2016年上海奉贤黄桃开花坐果的影响及致灾风险. 气象科技, 2020, 48(6): 903-910.
- Xu X M, Gu P Q, Chen C, et al. Effect of low humidity on flowering and fruiting of yellow peach in 2016 and its disaster risk in Fengxian, Shanghai. *Meteor Sci Technol*, 2020, 48(6): 903-910.
- [16] 徐相明,谈建国,顾品强,等. 奉贤黄桃产量的气象影响因子分析及预测模型的建立. 中国农学通报, 2021, 37(35): 43-50.
- Xu X M, Tan J G, Gu P Q, et al. Meteorological influencing factors and forecast model for the yield of yellow peach in Fengxian. *Chinese Agric Sci Bull*, 2021, 37(35): 43-50.
- [17] 栗志钢,杨再强. 黄桃果实成熟期高温灾害空间分布规律. 安徽农业科学, 2015, 43(19): 168-169.
- Su Z G, Yang Z Q. Spatial distribution of high temperature disaster in fruit maturity of yellow peach. *J Anhui Agric Sci*, 2015, 43(19): 168-169.
- [18] 杨栋,金志凤,丁烨毅,等. 水蜜桃气候品质评价方法与应用. 生态学报, 2018, 37(8): 2532-2540.
- Yang D, Jin Z F, Ding Y Y, et al. Method and application of climate quality evaluation for juicy peach. *Chinese J Ecol*, 2018, 37(8): 2532-2540.
- [19] 孙扬越,李军,周涛,等. 上海市金山区蟠桃气候品质评价模型. 江西农业学报, 2023, 35(8): 62-67.
- Sun Y Y, Li J, Zhou T, et al. Climate quality evaluation model of flat peach in Jinshan District, Shanghai City. *Acta Agric Jiangxi*, 2023, 35(8): 62-67.
- [20] 魏华兵,万素琴,王芳芳,等. 孝昌血桃气候品质评价模型及区划应用. 湖北农业科学, 2023, 62(9): 38-43.
- Wei H B, Wan S Q, Wang F F, et al. Climate quality evaluation model of "Xiaochang Xue Peach" and its application of

- regionalization. *Hubei Agric Sci*, 2023, 62(9): 38-43.
- [21] 周先艳, 周东果, 朱春华, 等. 不同树龄水晶蜜柚果实品质比较分析. *南方农业学报*, 2018, 49(5): 938-943.
Zhou X Y, Zhou D G, Zhu C H, et al. Fruit quality of crystal honey pomelo with different tree ages. *J South Agric*, 2018, 49(5): 938-943.
- [22] 荣传胜, 姜永峰, 陆玉卓, 等. 不同采收期对油桃果实采后贮藏品质的影响. *中国果树*, 2023(9): 86-89.
Rong C S, Jiang Y F, Lu Y Z, et al. Effect of different harvesting periods on the postharvest storage quality of nectarine fruit. *China Fruits*, 2023(9): 86-89.
- [23] 王灿月, 杨再强, 罗靖. 氮素水平对番茄开花坐果期遭遇短时高温后果实表现的影响. *中国农业气象*, 2023, 44(11): 1032-1042.
Wang C Y, Yang Z Q, Luo J. Effect of nitrogen level on tomato fruit performance after short-term high temperature stress during flowering and fruit setting. *Chinese J Agrometeor*, 2023, 44(11): 1032-1042.
- [24] 陈惠, 林晶, 杨凯, 等. 青枣气候品质等级评价模型构建及应用. *应用气象学报*, 2021, 32(4): 443-455.
Chen H, Lin J, Yang K, et al. Construction and application of climate quality evaluation model for Indian jujube. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(4): 443-455.
- [25] 刘维, 宋迎波. 基于气象要素的逐日玉米产量气象影响指数. *应用气象学报*, 2022, 33(3): 364-374.
Liu W, Song Y B. A daily meteorological impact index of maize yield based on weather elements. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(3): 364-374.
- [26] 宋艳玲, 周广胜, 郭建平, 等. 气候变暖对冬小麦徐麦 33 产量和品质影响. *应用气象学报*, 2023, 34(5): 552-561.
Song Y L, Zhou G S, Guo J P, et al. Influences of global warming on yield structure and quality of winter wheat Xumai 33. *J Appl Meteor Sci*, 2023, 34(5): 552-561.
- [27] 张淑宁, 陈俊兴, 敖敦, 等. 气候变化背景下我国长柄扁桃潜在适生区预测. *林业科学*, 2023, 59(12): 25-36.
Zhang S N, Chen J X, Ao D, et al. Prediction of potential suitable areas of *Amygdalus pedunculata* in China under climate change. *Sci Silvae Sinica*, 2023, 59(12): 25-36.
- [28] 杨宏毅, 霍治国, 杨建莹, 等. 江汉和江西南部春玉米涝渍指标及风险评估. *应用气象学报*, 2017, 28(2): 237-246.
Yang H Y, Huo Z G, Yang J Y, et al. Indicators and risk of spring corn waterlogging disaster in Jiangnan and west region of Jiangnan. *J Appl Meteor Sci*, 2017, 28(2): 237-246.
- [29] 王锐, 蔡焕杰, 王晓云, 等. 施氮对关中地区冬小麦农田土壤呼吸的影响及基于植被指数的估算模型. *干旱地区农业研究*, 2023, 41(6): 97-106.
Wang R, Cai H J, Wang X Y, et al. Effects of nitrogen fertilizer application on soil respiration in winter wheat fields in Guanzhong Region and estimation model based on vegetation index. *Agric Res Arid Areas*, 2023, 41(6): 97-106.
- [30] 徐艺, 邵光成, 丁鸣鸣, 等. 基于岭回归的土壤全氮含量反演模型. *排灌机械工程学报*, 2022, 40(11): 1159-1166.
Xu Y, Shao G C, Ding M M, et al. Inversion model of soil total nitrogen content based on ridge regression. *J Drain Irrig Mach Eng*, 2022, 40(11): 1159-1166.
- [31] Marquardt D W. Generalized inverses, ridge regression, biased linear estimation, and nonlinear estimation. *Technometrics*, 1970, 12(3): 591-612.
- [32] Snijder M B, Dekker J M, Visser M, et al. Larger thigh and hip circumferences are associated with better glucose tolerance: The Hoorn study. *Obes Res*, 2003, 11(1): 104-111.
- [33] Miles J. Tolerance and Variance Inflation Factor. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online, 2014. DOI: 10.1002/9781118445-112.stat06593
- [34] 杨磊, 韩丽娟, 宋金玲, 等. 基于遥感数据的夏玉米高温热害监测评估. *应用气象学报*, 2020, 31(6): 749-758.
Yang L, Han L J, Song J L, et al. Monitoring and evaluation of high temperature and heat damage of summer maize based on remote sensing data. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(6): 749-758.
- [35] Shrestha N. Detecting multicollinearity in regression analysis. *Am J Appl Math Stat*, 2020, 8(2): 39-42.
- [36] 胡莹莹, 庞林, 王启光. 基于深度学习的 7~15 d 温度格点预报偏差订正. *应用气象学报*, 2023, 34(4): 426-437.
Hu Y Y, Pang L, Wang Q G. Application of deep learning bias correction method to temperature grid forecast of 7-15 days. *J Appl Meteor Sci*, 2023, 34(4): 426-437.
- [37] 邱美娟, 刘布春, 刘园, 等. 基于高分辨格点数据东北水稻延迟型冷害风险评估及保险费率厘定. *中国农业气象*, 2024, 45(2): 201-211.
Qiu M J, Liu B C, Liu Y, et al. Risk assessment of delayed chilling injury of rice and the determination of insurance premium rate in Northeast China based on high-resolution meteorological grid data. *Chinese J Agrometeor*, 2024, 45(2): 201-211.
- [38] 谢舜, 孙效功, 张苏平, 等. 基于 SVD 与机器学习的华南降水预报订正方法. *应用气象学报*, 2022, 33(3): 293-304.
Xie S, Sun X G, Zhang S P, et al. Precipitation forecast correction in South China based on SVD and machine learning. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(3): 293-304.
- [39] 崔鹏, 王素娟, 陆风, 等. FY-4A/AGRI 海表温度产品和质量检验. *应用气象学报*, 2023, 34(3): 257-269.
Cui P, Wang S J, Lu F, et al. FY-4A/AGRI sea surface temperature product and quality validation. *J Appl Meteor Sci*, 2023, 34(3): 257-269.
- [40] 王力荣, 朱更瑞, 姜全, 等. 鲜桃 NY/T 586—2002. 北京: 中华人民共和国农业部, 2002.
Wang L R, Zhu G R, Jiang Q, et al. Fresh Peaches NY/T 586—2002. Beijing: Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the Peoples's Republic of China, 2002.
- [41] 康艳青. 不同负载量对桃树光合作用、生长发育以及果实品质的影响. 北京: 中国农业大学, 2006.

- Kang Y Q. Effects of Different Loads on Photosynthesis, Growth and Development and Fruit Quality of Peach Trees. Beijing: China Agricultural University, 2006.
- [42] 张晓煜, 亢艳莉, 袁海燕, 等. 酿酒葡萄品质评价及其对气象条件的响应. 生态学报, 2007, 27(2): 740-745.
- Zhang X Y, Kang Y L, Yuan H Y, et al. The quality evaluation of wine grape and its respond to weather condition. *Acta Ecol Sinica*, 2007, 27(2): 740-745.
- [43] 王璐瑶, 闫锦涛, 刘涛, 等. 桃果实品质动态变化及其对气象因子的响应. 农学学报, 2023, 13(11): 49-54.
- Wang L Y, Yan J T, Liu T, et al. Quality dynamic variation and response to meteorological factors in the development of peach fruits. *J Agric*, 2023, 13(11): 49-54.
- [44] 段鹏伟, 马筱建, 石海强, 等. ‘富士’苹果果实品质与海拔的相关性分析. 中国农学通报, 2021, 37(22): 49-56.
- Duan P W, Ma X J, Shi H Q, et al. Correlation analysis of fruit quality of ‘Fuji’ apple and altitude. *Chinese Agric Sci Bull*, 2021, 37(22): 49-56.
- [45] 张翠仙, 陈于福, 尼章光, 等. 不同海拔对帕拉英达芒果光合特性及果实品质的影响. 果树学报, 2021, 38(5): 749-759.
- Zhang C X, Chen Y F, Ni Z G, et al. Effects of different altitudes on leaf photosynthetic characteristics and fruit quality in *Myahintha* mango. *J Fruit Sci*, 2021, 38(5): 749-759.
- [46] 张蕊, 王钰馨, 赵雪惠, 等. 海藻有机肥不同施用量对土壤肥力及‘肥城’桃品质的影响. 植物生理学报, 2016, 52(12): 1819-1828.
- Zhang R, Wang Y X, Zhao X H, et al. Effects of different seaweed fertilizer levels on soil fertility and fruit quality of ‘Feicheng’ peach. *Plant Physiol J*, 2016, 52(12): 1819-1828.
- [47] 方海涛, 黄雄峰, 周丕考, 等. 3种栽培管理措施对东魁杨梅果实品质的影响. 江西农业学报, 2014, 26(3): 8-11.
- Fang H T, Huang X F, Zhou P K, et al. Effects of three cultivation and management measures on fruit quality of Dongkui red bayberry. *Acta Agric Jiangxi*, 2014, 26(3): 8-11.
- [48] 王雨, 陈湖, 武军凯, 等. 不同钾肥施用量对设施桃果实品质及产量的影响. 江西农业学报, 2023, 35(3): 84-90.
- Wang Y, Chen H, Wu J K, et al. Effects of different potassium application rates on fruit quality and yield of protected peach. *Acta Agric Jiangxi*, 2023, 35(3): 84-90.
- [49] 焦云, 舒巧云, 赵秀花, 等. 不同栽培措施对油桃品质的影响. 浙江农业科学, 2019, 60(11): 2042-2043.
- Jiao Y, Shu Q Y, Zhao X H, et al. Effects of different cultivation measures on nectarine quality. *J Zhejiang Agric Sci*, 2019, 60(11): 2042-2043.
- [50] 陆魁东. 湖南气候与作物气象. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2015.
- Lu K D. Hunan Climate and Crop Meteorology. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 2015.

Evaluation Model of Yellow Peach Climatic Quality Rating in Hilly Mountainous Areas

Wang Tianying¹⁾²⁾ Li Minhua³⁾⁴⁾ Wu Zhongchi³⁾⁴⁾ Huang Anfeng³⁾⁴⁾

Yang Changshun⁵⁾ Yang Pinling³⁾⁴⁾ Wang Tianke⁶⁾

¹⁾ (Hunan Institute of Meteorological Sciences, Changsha 410118)

²⁾ (Hunan Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Changsha 410118)

³⁾ (Huaihua Meteorological Bureau of Hunan, Huaihua 418000)

⁴⁾ (Key Laboratory of Fruit Climate Quality Identification of Huaihua, Hunan, Huaihua 418000)

⁵⁾ (Yanling County Meteorological Bureau of Zhuzhou, Hunan, Zhuzhou 412500)

⁶⁾ (Yueyang County Meteorological Bureau of Yueyang, Hunan, Yueyang 414100)

Abstract

The study of evaluation indexes for yellow peach climate quality and its meteorological factor model can provide technical support to ensure high-quality production and facilitate rural revitalization. Taking “Jinxiu” variety of yellow peach as the research object, based on the yellow peach quality observations from 221—1300 m altitude and temperature and rainfall data from 13 meteorological stations near orchards at the middle section of Luoxiao Mountains and the west side of Xuefeng Mountain during 2019—2023, a climatic quality evaluation index for yellow peach and meteorological factorial regression model for its quality elements are constructed by using the methods of weighted summation, Pearson’s correlation, regression analysis and multiple covariance analysis, and examined with independent samples. Effects of different altitudes and harvest dates on the climatic quality ratings of yellow peaches are further investigated based on the constructed model. Results show that the main meteorological influencing factors for yellow peach soluble solids content (S_s) is the average air temperature 80 d before harvest, for titratable acid content (A_T) is the total rainfall 40 d before harvest, and for fruit shape index (I_s) are the average air temperature from 1 May to 10 June, total rainfall from 1 May to 10 June, the average air temperature 10 d before harvest and total rainfall 10 d before harvest. Mean absolute error between the simulated and measured values of S_s , A_T , and I_s of validation samples is 0.397%, 0.093%, and 0.010, respectively, and the root mean square error is 0.072%, 0.014%, and 0.001, respectively, and r is 0.649 ($p=0.05$), 0.718 ($p=0.01$), and 0.957 ($p=0.01$), respectively. The simulated quality ratings for 75% of validation samples match the actual climatic quality ratings, while 25% differs by 1 level. Simulation based on the constructed model reveals that the total frequency of superior and excellent quality in the study area shows an increasing and then decreasing trend with both the elevation and the harvesting period, among which the best quality is found in the mid-high elevation areas of 600—820 m or the harvest from 31 July to 10 August. Fruits harvested in high elevation areas above 1300 m or harvested from 21 August to 31 August appear to have a high frequency of lower quality.

Key words: hilly mountainous area; yellow peach quality; meteorological influential factors; quantitative simulation; spatio-temporal variation characteristics