

网络出版时间:2018-04-26 15:24
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180426.1522.026.html>

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.10.013

黄河故道砀山酥梨气候品质评价模型研究

李 德¹,高 超²,孙 义¹,杨 健³,范孝玲³,王 胜⁴

(1 宿州市气象局,安徽 宿州 234000;2 安徽师范大学 江淮流域气候变化与水资源研究中心,安徽 芜湖 241000;
3 砀山县气象局,安徽 砀山 235300;4 安徽省气候中心,安徽 合肥 230031)

【摘 要】 【目的】建立砀山酥梨果实的气候品质评价模型,为科学开展农产品气候品质气象认证和区域优势气候资源开发等提供技术支撑。【方法】基于 1996—2015 年安徽省砀山县气象站逐日气象监测资料和砀山酥梨品质因素测定数据,采用主成分分析法(PCA)、有序样本最优聚类法和逐步回归法等统计方法,建立砀山酥梨气候品质指数(V)和 3 个采摘时期(09-10,09-20,09-30)的梨果气候品质评价模型,并将砀山酥梨气候品质划分为 4 个等级。【结果】砀山酥梨气候品质指数(V)可以由 8 个品质要素(一级果率、二级果率、三级果率、等外果率、果实含糖率、平均单果质量、最大单果质量和果形指数)降维成 4 个加权求和组成,权重系数为 4 个主分量所对应的特征值占原变量总方差的比例。砀山酥梨气候品质 4 个等级“特优”、“优”、“良好”、“一般”所对应的 V 的阈值分别为 $V>0.75$, $0.45<V\leq 0.75$, $0.30<V\leq 0.45$ 和 $V\leq 0.30$ 。砀山酥梨气候品质指数与旬及跨旬尺度的日照、气温、降雨和空气相对湿度等 19 个气象因子相关,其中与日照时数和平均气温多呈正相关,与空气相对湿度和降雨方面的因子多呈负相关,尤其与 4 月下旬—6 月上旬和 7、8 月 3 个时期的空气相对湿度因子呈极显著负相关关系($P<0.001$)。3 个采摘期砀山酥梨果实的气候品质评价回归方程分别由 6、6、8 个气象因子构成;3 个回归方程的模拟精度均较高,均方根误差为 0.03~0.07。【结论】所建立的梨果气候品质评价模型可用于砀山酥梨气候品质的定量化评价,在采摘前由气象因子驱动相应时期的评价模型,以确定梨果气候品质等级。

【关键词】 气候品质;气象因子;评价模型;砀山酥梨
【中图分类号】 S661.2;S162.5⁺5 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-9387(2018)10-0108-09

Evaluation model of climate quality for Dangshansu pear
in the Old Yellow River

LI De¹,GAO Chao²,SUN Yi¹,YANG Jian³,
FAN Xiaoling³,WANG Sheng⁴

(1 Suzhou Meteorological Bureau,Suzhou,Anhui 234000,China;
2 Climate Change and Water Resource Center of Jiang-Huai Basin,Anhui Normal University,Wuhu,Anhui 241000,China;
3 Dangshan Meteorological Office,Dangshan,Anhui 235300 China;4 Anhui Climate Center,Hefei,Anhui 230031,China)

Abstract: 【Objective】 The climate quality models of Dangshansu pear were built to provide technical support for developing meteorological certification work of climatic quality of agricultural products and development of regional advantage climate resources. 【Method】 Based on the daily meteorological monitoring data at Dangshan, Anhui from 1996 to 2015 and the measurement data of quality factors of Dangshansu pear. The climatic quality index of Dangshansu pear (V) and evaluation model of climate quality of Dangshansu pear during three sampling periods (September 10, September 20 and September 30) were established using principal component analysis (PCA), ordered cluster optimal clustering and stepwise regres-

sion method. The climate quality of Dangshansu pear was then divided into four grades. 【Results】 The quality index (V) of Dangshansu pear can be calculated from 8 quality factors (rate of first grade fruit, rate of second grade fruit, rate of third grade fruit, substandard fruit rate, fruit sugar content, average fruit weight, maximum fruit weight and fruit shape index). The dimension was reduced into four weighted sums. The weight coefficients were the ratios of the Eigen values of four principal components to the total variance of the original variables. The thresholds corresponding to the four levels of extra superior, excellent, good, and general were $V > 0.75$, $0.45 < V \leq 0.75$, $0.30 < V \leq 0.45$ and $V \leq 0.30$, respectively. The climatic quality index of Dangshansu pear was related to 19 meteorological factors in ten days or more such as sunshine, air temperature, precipitation and air relative humidity. Among them, there was a positive correlation with sunshine duration and mean air temperature, and negative correlation with air relative humidity and precipitation factors. In particular, the negative correlations between air relative humidity factors in late April-early June, July and August were tested by the significance level of $P < 0.001$. The regression equations of climate quality of Dangshansu pear fruit in three harvesting periods included 6, 6 and 8 meteorological factors respectively. The precisions of three regression equations were high with root mean square error of $0.03 - 0.07$. 【Conclusion】 The established models can be used as a quantitative evaluation method for the climate quality of Dangshansu pear. Before picking, the meteorological factors can be used to determine the climatic quality of Dangshansu pear.

Key words: climatic quality; meteorological factor; evaluation model; Dangshansu pear

砀山酥梨 (*Pyrus bretshneideri* cv. Dangshansu pear) 原产安徽省砀山县, 是目前中国栽培面积最大的梨品种和最重要的梨树资源之一, 在世界水果市场中占据着重要地位^[1-3]。截至 2015 年, 地处黄河故道的砀山县境内砀山酥梨栽培面积已超过 5 万 hm^2 。砀山酥梨果实大, 色黄亮, 皮薄, 果肉无渣且核小等, 被尊为“优梨之冠”。

近年来, 消费者对果品品质的要求逐渐提高, 砀山酥梨果实品质已成为决定其市场竞争力的重要因素。遗传特性、环境条件和栽培技术是决定作物品质的三大因素^[4], 其中气象条件是影响农产品品质的重要生态环境因素^[5-8], 即良好的天气气候条件是生产优质农产品的重要基础。对于一地长期栽培的落叶果树而言, 果实品质的年际间波动主要是天气气候条件不同所致。对每年砀山酥梨果实的气候品质优劣进行气象评价或认证, 可为消费者的选择提供参考依据, 而且对提升果品市场竞争力具有重要作用。

农产品气候品质评价是从气候角度出发, 就年际间气候条件变化引起的农产品品质波动进行气象评定, 以反映年际间农产品品质的动态特性。目前, 在茶叶气候品质评价和认证上已取得一定成效^[5-6], 经过气候品质评价或认证的茶叶, 已得到消费者的认可, 且有效提升了区域特色茶叶的市场竞争力。然而, 国内外除在茶叶气候品质评价方法^[5-6]上进行

了探讨外, 在落叶果树果实品质上, 前人研究多集中在品质组成因素之间的相关分析及其品质评价方法的综合表征上^[8,9-12], 关于气象条件对果树果实品质影响方面的研究, 多是揭示不同气象因子与单一或多个主要品质因素之间的影响关系^[13-16], 如魏钦平等^[13]运用典范相关结合逐步回归分析, 确定了影响红富士苹果花青素、果实含糖率的关键气象因子; 刘小阳等^[14-15]研究发现, 光照强度较高条件下砀山酥梨的可溶性糖、 V_C 含量、糖酸比较高, 有机酸含量低, 果实品质佳, 同时指出幼果期良好的光照强度, 能增强砀山酥梨果实吸收决定石细胞形成的 Ca^{2+} 、 Zn^{2+} 的能力等; 陈江等^[16]认为, 库尔勒香梨树冠内的光照强度分布与果实品质关系密切; 刘明春等^[17]证实, 河西地区“苹果梨”生育期间 $\geq 0^\circ\text{C}$ 年积温与可溶性固形物含量呈幂函数负相关, 果实含糖量与年日照时数呈幂函数负相关。但综观现有研究成果, 目前鲜有基于气象条件的果实气候品质量化综合评价方法方面的研究。为此, 本研究利用砀山县砀山酥梨果实品质因素与同期气象因子的长期定位监测资料, 在确定砀山酥梨品质综合表征参量的基础上, 筛选影响酥梨果实综合品质的关键气象因子, 采用逐步回归法建立梨果气候品质评价模型, 以期砀山酥梨果实气候品质评定、区域优势气候资源开发利用和果品市场竞争力的提高提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

安徽省砀山县位于苏鲁豫皖 4 省 7 县交界处,境内年平均气温 14.4℃,年日照时数 2 120.0 h,年降水量 746.7 mm,全年 $\geq 10^\circ\text{C}$ 有效积温 4 864.4℃。土壤多系近代黄泛沉积物发育而成的潮土,土层深厚,通透性好,pH 值 8.2 左右,十分适宜酥梨栽培。在中国梨树气候区划中,砀山县属于砀山酥梨适宜和较适宜气候区^[18]。

1.2 资料来源

(1)1996—2015 年砀山酥梨逐年萌芽到采摘期间物候资料、品质因素与产量因素数据,及其同期平行监测的逐日光、温、水等气象数据,来自安徽省砀山县气象观测站。

(2)砀山酥梨长期定位观测地段位于砀山县气象观测场东南 2.5 km 处的安徽省砀山县园艺场果园内。果园土壤肥力中等,观测植株于 1966 年定植,植株密度为 241 株/hm²。观测地段与观测植株选择标准、梨树各物候期观测方法,以及果实纵横径比(即果形指数)、含糖率(%,质量分数)、一级果率(%)、二级果率(%)、三级果率(%)、等外果率(%)等品质因素和单果平均质量(g)、最大单果质量(g)等产量因素的测定方法,均按照《农业气象观测规范(下卷)》^[19]执行。其中,各等级果实百分率测定时,从观测植株采收的果实中任取 100 kg,按照当地果品收购部门的规定,将单果质量 ≥ 250 , $\geq 200 \sim < 250$, $\geq 150 \sim < 200$, < 150 g 的果实质量占 100 kg 样本果实质量的百分率,分别定为一级果率、二级果率、三级果率和等外果率;果实含糖率为总糖含量,采用斐林试剂滴定法测定;果实的纵径与横径采用卡尺于每年 08-31 果实成熟期实测,纵径除以横径即为果形指数。

1.3 研究方法

1.3.1 砀山酥梨品质综合表征参量的确定 农作物品质是诸多品质构成因素的综合反映,鲜食水果的综合品质主要由感官品质与内在品质构成。一般采用主成分分析法^[9-11]、灰色关联度法^[12]、层次分析法^[20]以及经验模型等方法,将诸多品质因素综合为一个参量或指标来表达。考虑到砀山酥梨气候品质评价主要是评价鲜食为主的初级农产品,依据专家知识和作者多年气象服务经验,结合品质因素资料的易取性以及消费者最易判定的品质因素,最终选取与气象条件关系密切相关的 8 个品质因素,即一

级果率、二级果率、三级果率、等外果率、果实含糖率、平均单果质量、最大单果质量和果形指数。采用主成分分析法^[21],对选取的品质因素进行降维简化,消除各品质因素之间的相关性,得到砀山酥梨品质的综合表征参量,即气候品质指数 $V=f(\text{一级果率、二级果率、三级果率、等外果率、果实含糖率、平均单果质量、最大单果质量、果形指数})$ 。

主成分分析时,确定主分量个数的原则为:当第 1 主分量的方差贡献率 $\geq 90\%$ 时,即可用第 1 个主成分代表原来 8 个品质因素标准化(标准化后的值 $y_{ij}=y'_{ij}/y'_{\max j}$,其中 y'_{ij} 、 $y'_{\max j}$ 分别为第 j 个品质因素第 i 年测定的实际值和其所有样本中的最大值)后因素的综合影响,即:

$$V_i = a_{11}y_{i1} + a_{21}y_{i2} + a_{31}y_{i3} + a_{41}y_{i4} + a_{51}y_{i5} + a_{61}y_{i6} + a_{71}y_{i7} + a_{81}y_{i8} \quad (1)$$

式中: $a_{11}, a_{21}, a_{31}, \dots, a_{81}$ 分别为主成分分析得到的第一主分量的第一特征值所对应的向量元素。本研究 $i=1, 2, 3, \dots, 20$,即 1996—2015 年; $j=1, 2, 3, \dots, 8$,代表 8 个品质因素。

当取前 L 个主分量方能满足累计方差贡献率 $\geq 90\%$ 时,则 V 取每个主分量所对应的特征值占变量总方差的比例作为权重进行累加计算,以此作为原来 8 个品质因素的综合气候品质指数(V),即有:

$$V = \lambda_1 / \sum_{j=1}^L \lambda_j \times V_1 + \dots + \lambda_L / \sum_{j=1}^L \lambda_j \times V_L \quad (2)$$

式中: λ_j 为第 j 个主分量所对应的特征值, $j=1, 2, 3, \dots, L$, L 为主分量累计方差贡献率 $\geq 90\%$ 时的特征值个数。

1.3.2 砀山酥梨气候品质等级划分 果实气候品质等级的划分,是按照一定阈值对果实品质综合表征参量(如气候品质评价指数 V)进行划分,并赋予不同阈值为不同的级别。阈值划分方法一般采用系统聚类法^[9-10,12]、模糊聚类法^[22]、正态概率分位数法^[23]、K-均值聚类法^[24]等方法。本研究采用有序样本最优聚类法^[25-26],将通过式(1)或式(2)计算得到的酥梨气候品质综合表征参量(V)进行 4 分类,分别对应“特优”、“优”、“良”、“一般”4 个等级,并依次赋值 1,2,3,4。然后将逐年分级结果与当地酥梨栽培方面的专家进行座谈,对最优聚类结果进行适当修约,并结合数据近“5”取“5”和近“0”取“0”的数值划分习惯,综合得到酥梨气候品质等级阈值。

1.3.3 砀山酥梨气候品质评价模型构建 参考落叶果树(主要为梨、苹果)品质与气象因子之间关系方面的已有研究成果^[4,9-12,14-17],结合酥梨栽培专家

和气象服务经验,采取相关分析法,普查砀山酥梨主要物候期间的光、温、水等气象因子与砀山酥梨气候品质指数(V)之间的相关程度。以相关程度高且通过显著性检验的因子作为候选气象因子,采用逐步回归法建立气象因子与砀山酥梨气候品质指数(V)之间的回归方程,即砀山酥梨气候品质指数模拟方程。由当年的气象条件驱动评价方程,可对当年砀山酥梨果实气候品质进行定量化评定。

考虑到砀山酥梨果实最早在每年 9 月上旬开始采摘,最迟到 9 月底采摘完毕,其中 9 月 20 日为常年最适宜采摘期。为此,在建立砀山酥梨气候品质评价模型时,针对不同采摘时期选择不同时期气象

因子进行逐步回归,分别为 9 月 10 日、9 月 20 日和 9 月 30 日前采摘的梨果建立气候品质评价模型。

1.4 数据处理

数据处理、相关分析、回归方程建立与绘图,采用 DPS 和 Excel 软件进行。

2 结果与分析

2.1 砀山酥梨气候品质综合表征参量

由砀山酥梨 8 个品质因素标准化后的数据,采用主成分分析法(PCA)得到 8 个品质因素相应特征值及其方差与累计方差贡献率如表 1 所示。

表 1 砀山酥梨各品质因素特征值及其方差与累计方差贡献率

Table 1 Eigenvalue of each quality factor and the variance and cumulative contribution rates of Dangshansu pear							
成分 Component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	累计方差贡献率/% Cumulative contribution rate	成分 Component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	累计方差贡献率/% Cumulative contribution rate
1	4.055 5	50.69	50.69	5	0.391 4	4.89	95.02
2	1.465 6	18.32	69.01	6	0.358 8	4.48	99.51
3	0.997 3	12.47	81.48	7	0.039 4	0.49	99.999 4
4	0.692 0	8.65	90.13	8	0.000 1	0.001	100.0

由表 1 可见,前 4 个主分量的累计方差贡献率为 90.13%,已满足设定标准。为此,选择前 4 个主分量所对应的特征值向量分别作为各自的权重系数,

$$\begin{cases} V_{i1}=+0.483\ 6y_{i1}-0.302\ 3y_{i2}-0.392\ 4y_{i3}-0.347\ 1y_{i4}+0.139\ 7y_{i5}+0.480\ 2y_{i6}+0.385\ 2y_{i7}-0.041\ 8y_{i8}, \\ V_{i2}=+0.097\ 2y_{i1}-0.463\ 5y_{i2}+0.094\ 4y_{i3}+0.361\ 8y_{i4}-0.470\ 6y_{i5}-0.005\ 1y_{i6}+0.180\ 7y_{i7}+0.617\ 9y_{i8}, \\ V_{i3}=-0.034\ 3y_{i1}-0.442\ 5y_{i2}+0.373\ 0y_{i3}+0.355\ 1y_{i4}+0.609\ 5y_{i5}-0.132\ 6y_{i6}+0.316\ 2y_{i7}-0.220\ 8y_{i8}, \\ V_{i4}=-0.077\ 1y_{i1}+0.253\ 1y_{i2}+0.084\ 0y_{i3}-0.307\ 8y_{i4}+0.518\ 7y_{i5}-0.068\ 1y_{i6}+0.080\ 8y_{i7}+0.740\ 2y_{i8}. \end{cases} \quad (3)$$

然后再根据式(2),取 L=4,则得到每年的 V,即:

$$V=\lambda_1/\sum_{j=1}^4\lambda_j\times V_{i1}+\cdots+\lambda_L/\sum_{j=1}^4\lambda_j\times V_{i4}。 \quad (4)$$

2.2 砀山酥梨气候品质等级划分

由式(4)计算得到 1996—2015 年砀山县砀山酥梨逐年气候品质综合表征参量(V),并按由小到大

利用式(1)得到 4 个新的表征酥梨品质因素的参量,即:

的顺序排列,采用有序样本最优聚类法,选取 4 分类,将各类界限值作为砀山酥梨气候品质等级的划分阈值(表 2),然后根据等级阈值指标,研判 1996—2015 年砀山酥梨气候品质指数值(V),得到各年砀山酥梨气候品质等级的分布情况见表 2。

表 2 1996—2015 年砀山酥梨分级指标及其气候品质等级

Table 2 Grading index and the climatic quality levels of Dangshansu pear from 1996—2015				
等级 Grade	赋值 Assignment	阈值(V) Threshold	年份 Years	年数 Number of samples
特优 Extra outstanding	1	>0.75	2000,1999,2001	3
优 Outstanding	2	>0.45~≤0.75	1997,2004,2002,1996,2014,2011,2015,2010	8
良 Good	3	>0.30~≤0.45	2009,2005,2003,2013,2008,2006,2012	7
一般 Average levels	4	≤0.30	2007,1998	2

根据表 2 确定的 1996—2015 年砀山酥梨气候品质等级,计算各等级年数占总年数的频率,以此作为纵坐标,以“1,2,3,4”4 个级别为横坐标,点绘频率分布图见图 1。

经正态分布检验,砀山酥梨气候品质各等级频率的分布通过了 P<0.01 的显著性检验,表明对砀山酥梨气候品质等级的划分是客观的。

2.3 影响砀山酥梨气候品质指数的主要气象因子

采用相关系数法,普查了砀山酥梨开花到梨果采摘期间(3月下旬—9月下旬)逐旬日照、气温、降水量及其膨化处理后的各气象因子与砀山酥梨气候品质指数之间的相关系数(表 3),初步选定 19 个气象因子供逐步回归使用。其中, x_5 、 x_{16} 是为了建立 9 月 10 日前和 9 月 20 日前采摘果实气候品质评价的逐步回归模型时,所选定的时间发生了部分重叠的因子; x_{15} 是 5 月中旬—9 月中旬累计降雨量的修正指数,修正方法见式(5),即:

$$x = \begin{cases} \frac{550 - R_{5-9}}{1.15}, & (R_{5-9} \leq 550.0); \\ (R_{5-9} - 550), & (R_{5-9} > 550.0). \end{cases} \quad (5)$$

式中: R_{5-9} 为 5 月中旬—9 月中旬累计降水量(mm),

表 3 影响砀山酥梨气候品质指数(V)的气象因子

Table 3 Meteorological factors affecting climate quality index (V) of Dangshansu pear

序号 No.	因子编号 Factor No.	因子说明 Factor meanings	相关系数 Correlation coefficient	P
1	x_1	7 月上旬日照时数(h) Sunshine hours of E-Jul	0.406 4	<0.10
2	x_2	8 月下旬日照时数(h) Sunshine hours of L-Aug.	0.408 8	<0.10
3	x_3	5 月上旬—6 月中旬平均气温(℃) Mean temperature during E-May to M-Jun.	0.607 9	<0.01
4	x_4	9 月上旬平均气温(℃) Mean temperature of E-Sep.	0.471 4	<0.05
5	x_5	8—9 月上旬气温日较差(℃) Diurnal temperature range during Aug. to E-Sep.	−0.534 0	<0.05
6	x_6	4 月下旬—6 月上旬平均相对湿度(%) Relative humidity during L-Apr. to E-Jun.	−0.702 7	<0.01
7	x_7	7 月平均空气相对湿度(%) Relative humidity of Jul.	−0.707 7	<0.01
8	x_8	8 月平均空气相对湿度(%) Relative humidity of Aug.	−0.736 1	<0.01
9	x_9	3 月下旬降雨量(mm) Precipitation of L-Mar.	−0.473 7	<0.05
10	x_{10}	7 月上旬降雨量(mm) Precipitation of E-Jul.	−0.467 3	<0.05
11	x_{11}	8 月上旬降雨量(mm) Precipitation of E-Aug.	−0.407 8	<0.10
12	x_{12}	8 月下旬降雨量(mm) Precipitation of L-Aug.	−0.432 3	<0.10
13	x_{13}	8 月上旬降雨日数(d) Precipitation day of E-Aug.	−0.534 0	<0.05
14	x_{14}	7 月中旬—8 月下旬降雨日数(d) Precipitation day during M-Jul. to L-Aug.	−0.448 8	<0.10
15	x_{15}	5 月中旬—9 月中旬降雨指数(mm) Precipitation index during M-May. to, M-Sep.	0.452 0	<0.05
16	x_{16}	8—9 月中旬气温日较差(℃) Diurnal temperature range during Aug. to M-Sep.	−0.480 3	<0.05
17	x_{17}	9 上中旬平均空气相对湿度(%) Relative humidity of E-Sep.	−0.504 6	<0.05
18	x_{18}	9 月平均空气相对湿度(%) Relative humidity of Sep.	−0.489 1	<0.05
19	x_{19}	9 月降雨量(mm) Precipitation of Sep.	0.440 8	<0.10

注:E 代表上旬,M 代表中旬,L 代表下旬。

Note:E is the first ten-day of a month;M is the middle ten-day of a month;and L is the last ten-day of a month.

由表 3 可见,入选的 19 个因子中,日照时数方面的因子有 2 个,温度(包括气温日较差)方面因子有 4 个,空气相对湿度方面的因子有 5 个,降雨(包括日降雨量 ≥ 0.1 mm 的降雨日数)方面的因子有 8 个。其中分布在 7 月份果实二次膨大期以后的气象因子有 15 个,其他时间的因子 4 个,表明梨果二次膨大期后的气象条件对砀山酥梨气候品质形成具有重要作用。

由相关性质看,砀山酥梨气候品质指数与日照时数、温度因子呈正相关,与气温日较差、降雨量(9

1.15 为经验修正系数。

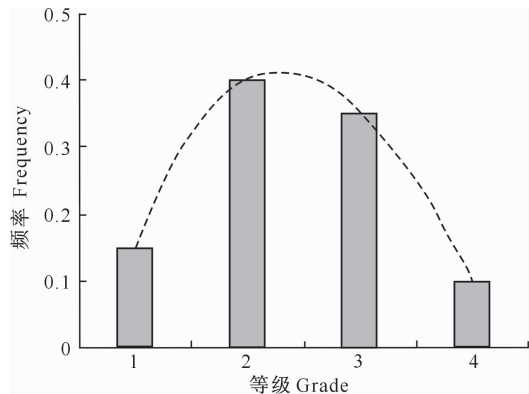


图 1 1996—2015 年砀山酥梨气候品质各等级分布频率

Fig.1 Grade frequency of climatic quality of Dangshansu pear from 1996—2015

月份降雨量除外)、降雨日数和空气湿度方面的因子均呈负相关。表明当地日照时数多、平均气温高,有利于梨果气候品质提升;而降雨量与降雨日数多、空气湿度和气温日较差大,则会限制梨果气候品质指数的提升。

从相关程度看,5 个空气相对湿度因子与砀山酥梨气候品质指数的相关程度均较大,尤其是 4 月下旬—6 月上旬、7 月和 8 月 3 个时期的空气相对湿度均通过 $P<0.01$ 的显著性检验,表明砀山酥梨气候品质指数高低与其密切相关。结合砀山酥梨的生

长发育过程,可以认为,4月下旬—6月上旬正值酥梨果实落花坐果和幼果初次膨大期,空气湿度大在一定程度上会阻碍果树接受太阳辐射,从而削弱果树正常的光合作用,幼果果肉细胞分裂数量增加所需的充足光合产物难以充分合成,继而影响到单果质量、最大单果质量和一、二级果率,最终会影响砀山酥梨气候品质指数的提升。在7、8和9月份,正值果实二次膨大期和成熟期,是果肉细胞与细胞间隙扩大期,同样需要充足的养分供应,此时空气湿度大,不仅影响光合作用正常进行,而且易诱发多种病菌的传播、侵染及发病等,从而导致酥梨气候品质指数下降。

相关程度位于其次的为5月上旬—6月中旬的平均气温,此时期为幼果第一次膨大期,偏高的温度对果实果肉细胞的快速分裂十分有利,细胞分裂数量多,能为后期果实二次膨大奠定细胞数量基础;同时,此时期也是决定果形指数大小的时期。有研究表明,花后到幼果期一段时间内,温度偏高会促使果实横径生长速度大于纵径,使果形趋于圆整(即果形指数 ≈ 1.0)^[4]。9月上旬平均气温与砀山酥梨气候品质指数之间的正相关程度略低,表明在酥梨果实成熟前的糖分积累和果实转色期,也需要相对偏高的温度。但选定的气温日较差方面的2个因子,均与砀山酥梨气候品质指数呈负相关关系,且相关程度弱于气温,从时间上看,这2个因子均处于果实二次膨大、糖分积累和转色期。分析认为,此时期的气温日较差大,常常是夜温偏低,而夜温偏低对果实中糖分含量的提升会产生一定的抑制作用。

日照时数方面的2个因子与砀山酥梨气候品质指数之间的正相关程度弱于空气湿度、温度、降雨因子,表明本地日照时数对砀山酥梨气候品质提升的影响相对较弱。通过显著性检验的2个因子,即7月上旬和8月下旬的日照时数,这两个时期分别为梨果二次膨大初期和梨果着色关键期,充足的光照条件,是梨果果实增大、质量增加及色泽转化的重要基础。

降雨方面的8个因子,除9月份降雨量与砀山酥梨气候品质指数为正相关关系外,其他均呈负相关关系,表明当地降雨条件对砀山酥梨气候品质提升存在明显抑制作用。由式(5)可见,5月中旬—9月中旬的累计降雨量,即从幼果初次膨大到成熟期间累计降雨量在550 mm以下时,对酥梨气候品质指数提升有利;超过550 mm,则不利砀山酥梨气候品质指数的提升。

另外,从降雨影响因子所处时间看,如果3月下旬的萌芽—花期降雨量偏多,不利于开花授粉和坐果。进入7月后,降雨量大和降雨日数多,均不利于砀山酥梨气候品质指数的提升。分析认为,本地处于暖温带向北亚热带的气候过渡带,7—8月正值雨水偏多的汛期,过多的降雨量和降雨日数,必然导致日照时数减少,进而影响到光合作用,使得果肉细胞扩大、糖分积累等需要的养分合成受到一定程度的抑制,从而使气候品质指数下降。但9月份降雨量与砀山酥梨气候品质指数却呈正相关关系,分析认为,9月份为本地汛期结束向秋季的过渡期,降雨相对偏少,而此时梨果实着色、糖分积累以及果实中水分含量提升等均需要一定的水分来运转、输送等,因此,9月份适量的降雨有利于砀山酥梨气候品质指数的提升。

2.4 砀山酥梨气候品质评价模型及其应用

利用表3初选的气象因子值(各因子均采取标准化后的值,标准化方法同品质因素)和式(4)建立的梨果气候品质指数方程,根据采摘时期进行逐步回归,最终可以得到09-10,09-20和09-30 3个采摘时期砀山酥梨气候品质评价回归模型。

2.4.1 9月10日采摘果实的气候品质评价模型

选取表3中的因子1到因子14进行逐步回归,得到9月10日前采摘酥梨果实的气候品质评价模型为:

$$V_1 = 2.7163 - 0.7200x_5 - 1.8601x_7 - 0.1837x_9 - 0.2909x_{10} - 0.2992x_{11} + 0.3954x_{14}, \\ (R^2 = 0.9267, P < 0.001). \quad (6)$$

2.4.2 9月20日采摘果实的气候品质评价模型

选取表3中的因子1到因子17进行逐步回归,得到9月20日前采摘酥梨果实的气候品质评价模型为:

$$V_2 = 1.7436 + 0.6058x_3 - 0.2299x_5 - 1.3191x_8 - 0.2573x_9 + 0.2931x_{15} - 0.5618x_{16}, \\ (R^2 = 0.8588, P < 0.001). \quad (7)$$

2.4.3 9月30日采摘果实的气候品质评价模型

选取表3中的因子1到因子19进行逐步回归,得到9月30日前采摘酥梨果实的气候品质评价模型为:

$$V_3 = 1.7490 + 0.2507x_1 - 0.2496x_9 - 0.1376x_{11} - 0.1307x_{13} + 0.1433x_{14} - 0.3231x_{16} - 1.3779x_{17} + 0.2792x_{19}, \\ (R^2 = 0.9633, P < 0.001). \quad (8)$$

2.4.4 砀山酥梨气候品质评价模型的模拟检验

将1996—2015年逐年的气象因子分别带入式(6)、

(7)、(8), 计算得到逐年的 V 值, 并与利用式(4) 算得到的逐年 V 值, 点绘二维平面图见图 2。

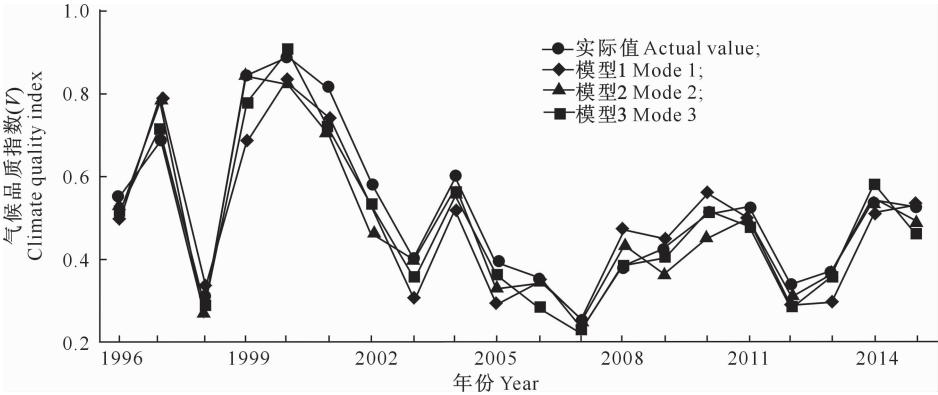


图 2 砀山酥梨气候品质评价模型模拟值与实际值的比较

Fig. 2 Comparison of simulated and actual values of the evaluation models of climate quality of Dangshansu pear

由图 2 可见, 模拟曲线与实际值曲线十分吻合。经计算, 3 个采摘时期的气候品质评价方程反演结果的均方根误差分别为 0.068 7, 0.052 0 和 0.034 9, 可见其模拟精度较高, 表明所建立的回归方程可以用于砀山酥梨气候品质评价。

2.4.5 砀山酥梨气候品质评价模型的应用 将 2016 年砀山气象观测场的实测气象数据分别带入方程(6)、(7)、(8), 得到 2016 年砀山酥梨 9 月 10 日、9 月 20 日和 9 月 30 日采摘果实的气候品质指数分别为 0.428 0, 0.462 3 和 0.459 4, 与表 2 的酥梨气候品质指数等级阈值进行比对, 可知这 3 个时期采摘的砀山酥梨果实的气候品质可分别评定为“良”、“优”、“优”级。

将评定结果与当地果树专家和果树大户的咨询结果相比较, 并与 2016-10-09 安徽省农业气象中心组织召开的砀山酥梨气候品质评价专家论证会的结论, 即“2016 年, 砀山县 9 月上旬一下旬采摘的砀山酥梨果实的气候品质综合评定为‘优’级”相比, 所得结论均一致, 表明本研究建立的砀山酥梨气候品质评价模型可以作为砀山酥梨评级技术方法推广使用。

3 讨论

本研究采用主成分分析法, 综合集成砀山酥梨品质方面的 8 个品质因素, 构建了砀山酥梨气候品质表征参量——气候品质指数。结合平行观测的气象资料, 采用逐步回归法建立了 3 个采摘时期(9 月 10 日、9 月 20 日、9 月 30 日)砀山酥梨气候品质指数评价方程, 实现了由气象条件对果实气候品质的综合量化评价, 是对以往仅探讨气象条件与果实品质之间关系的提升, 且与已有的研究成果^[4-5]相比, 具有样本序列长、采样点固定、梨果品质综合表达客观等特点。经反演检验, 3 个采摘时期的梨果气候品质评价方程具有较高的模拟精度, 均方根误差为 0.03~0.07, 可作为酥梨气候品质的定量化气象评价模型使用。2016 年将模型应用于砀山县砀山酥梨气候品质的气象认定, 取得了较好的社会效益。但如何在气候品质评价模型中引入冰雹、高温日灼等气象灾害因子对果实感官品质的影响^[4,27], 是需要继续研究的课题。

林果果实品质是一个内容相对宽泛的综合性概念, 包括许多性状和数量因素, 且彼此之间相互交叉、密切相关^[4,9-10,27-29]。本研究对象为自然条件下栽培的无套袋保护的砀山酥梨, 且 1990 年至今品种未变、果园固定, 因此年际间梨果品质差异可认为主要是由于每年气候条件不同所致^[29]。因此, 本研究构建的砀山酥梨气候品质指数, 在一定程度上可以表征梨果气候品质。利用确定的砀山酥梨气候品质等级阈值, 对 1996—2015 年砀山县砀山酥梨年际间的气候品质等级进行率定, 评定结果与当地果树专家的意见相吻合, 且各等级出现频率遵从正态分布, 这与果树科学揭示的连续性变量或间断性变量大都符合正态分布的规律^[28,30]一致。但如何在气候品质表征指数中, 引入色泽、香气等品质因素^[4,9,27], 以及如何在气候品质指数中客观剔除遗传、土壤和肥力条件等非气象条件的影响, 是下一步需要解决的问题。

相关分析发现, 日照时数和气温方面的因子与砀山酥梨气候品质多呈正相关关系, 空气相对湿度、降雨方面因子与砀山酥梨气候品质指数之间多呈负

相关关系,这与已有的研究结果^[4,31-32]基本一致。但本研究发现,梨果二次膨大期及其以后的气象条件对砀山酥梨果实气候品质形成有重要作用,且梨果着色—成熟前期(8—9月)气温日较差与梨果气候品质指数呈负相关关系,与“昼温不高和适当的低温及气温日较差大,对果实着色、含糖率提升有利”的研究结论^[4,28]存在一定差异。分析认为,本研究依据的砀山酥梨气候品质指数是 8 个品质因素的综合,二者呈负相关关系,反映的是这个时期气温日较差对气候品质指数的综合影响,而非含糖率一项,且本研究并未考虑果实色泽因素。

本研究涉及的气象因子多为旬或跨旬尺度,较易于获取。但有研究指出,年积温高则梨果可溶性固形物含量高^[17];杨谦俊等^[33]试验证实,水分适宜且变幅小的土壤有利于梨果早着色及提高品质等。因此,如何在模型中引进非旬尺度气象因子和土壤水分因子,将是下一步需要改进之处。

4 结 论

砀山酥梨气候品质可由 9 月 10、20 和 30 日 3 个采摘时期的评价方程厘定,在砀山县,降雨多、空气湿度大会抑制梨果气候品质形成,而日照丰富、平均气温偏高则有利于梨果气候品质提升,7 月及以后的气象条件对梨果气候品质优劣有重要影响。

[参考文献]

- [1] 李 德,杨天明,戚尚恩,等.黄河故道砀山酥梨花期冷害风险评估方法研究[J].中国农业气象,2009,30(4):611-615.
Li D, Yang T M, Qi S E, et al. Risk assessment method of cold damage to florescence of Dangshan pear in old course of the Yellow River [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(4): 611-615.
- [2] 伊兴凯,张金云,高正辉,等.不同覆盖方式对砀山酥梨园土养分及果实品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(10):161-166.
Yin X K, Zhang J Y, Gao Z H, et al. Effect of different covering ways on the soil nutrition and fruit quality in Dangshansu pear gardeng [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2012, 40(10): 161-166.
- [3] 伊兴凯,徐义流.初春温度变化对砀山酥梨芽萌发及坐果的影响[J].安徽农业大学学报,2012,39(5):697-701.
Yin X K, Xu Y L. Effect of temperature changes in early spring on the buds germination and fruitset of Dangshansuli [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2012, 39(5): 697-701.
- [4] 张光伦.生态因子对果实品质的影响[J].果树科学,1994,11(2):120-124.
Zang G L. Effect of ecological factors on fruit quality [J]. Journal of Fruits Science, 1994, 11(2): 120-124.
- [5] 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.
Lou W P, Wu L H, Sun K, et al. Climatological quality certification scheme for spring Longjing tea production [J]. Meteorological Science and Technology, 2014, 42(5): 945-950.
- [6] 金志凤,王治海,姚益平,等.浙江省茶叶气候品质等级评价[J].生态学杂志,2015,34(5):1456-1463.
Jin Z F, Wang Z H, Yao Y P, et al. Evaluation of tea climate quality grade in Zhejiang [J]. Chinese Journal Ecology, 2015, 34(5): 1456-1463.
- [7] Lee B, Kenkel P, Brorsen B W. Pre-harvest forecasting of county wheat yield and wheat quality using weather information [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2013, 168: 26-35.
- [8] 吴春燕,刘勇洪,李慧君,等.北京桃种植的气候适宜性区划[J].气象科技,2010,38(1):129-132.
Wu C Y, Liu Y H, Li H J, et al. Climate adaptation and superiority analysis of peach plantting in Beijing [J]. Meteorological Science and Technology, 2010, 38(1): 129-132.
- [9] 田 瑞,胡红菊,杨晓平,等.梨果实品质评价因子的选择[J].长江大学学报(自然科学版):农学卷,2009,6(3):8-11.
Tian R, Hu H J, Yang X P, et al. Selection of factors for evaluating pear fruit quality [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition): Agricultural Science Volume, 2009, 6(3): 8-11.
- [10] 徐吉花,赵政阳,王雷存,等.苹果果实品质评价因子的选择研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(6):269-274.
Xu J H, Zhao Z Y, Wang L C, et al. Selection of factors for apple fruit quality evaluation [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(6): 269-274.
- [11] 张海英,韩 涛,王有年,等.桃果实品质评价因子的选择[J].农业工程学报,2006,22(8):235-239.
Zhang H Y, Han T, Wang Y N, et al. Selection of factors for evaluating peach (*Prunus persica*) fruit quality [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(8): 235-239.
- [12] 张海英,韩 涛,刘 洁,等.应用灰色关联度分析法评价桃果实品质[J].北方园艺,2008(12):9-13.
Zhang H Y, Han T, Liu J, et al. Evaluation of peach fruit quality by grey related degree [J]. Northern Horticulture, 2008(12): 9-13.
- [13] 魏钦平,程述汉,唐 芳,等.红富士苹果品质与生态气象因子关系的研究[J].应用生态学报,1999,10(3):289-292.
Wei Q P, Cheng S H, Tang F, et al. Relationship between fruit quality of Fuji apple and meteorological factors [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(3): 289-292.
- [14] 刘小阳,李 玲,史宏伟,等.光强对砀山酥梨果实发育期可溶性糖、可滴定酸和 V_C 含量的影响[J].林业科学,2007,43(7):134-137.
Liu X Y, Li L, Shi H W, et al. Influence of light intensity on soluble sugar, organic acid and V_C content of *Pyrus bretschneideri* cv. Dangshansu pear fruit in its growth phase [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(7): 134-137.

- [15] 刘小阳,史宏伟,李 玲. 光强对砀山酥梨果实发育期 Ca^{2+} 、 Zn^{2+} 含量变化的影响 [J]. 安庆师范学院学报(自然科学版), 2005, 11(4): 50-52.
- Liu X Y, Shi H W, Li L. Influence of light indensity on the change of Ca^{2+} and Zn^{2+} in Dangshansu pear growth [J]. Journal of Anqing Teachers College (Natural Science Edition), 2005, 11(4): 50-52.
- [16] 陈 江,张凯丽,张 琦. 香梨冠内光照分布及其果实品质的测定 [J]. 北方园艺, 2015(21): 11-14.
- Chen J, Zhang K L, Zhang Q. Light distribution inside grown and quality determination of fragrant pear [J]. Northern Horticulture, 2015(21): 11-14.
- [17] 刘明春,马鸿勇. 河西走廊苹果梨生态气候适应性及区划研究 [J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 114-116.
- Liu M C, Ma H Y. Adaptability analysis of ecological climate and regional research on the apple pear in Hexi Corridor [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11(2): 114-116.
- [18] 李世奎. 中国农林作物气候区划 [M]. 北京: 气象出版社, 1987: 174-178.
- Li S K. Climatic regionalization of agri-crops in China [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1987: 174-178.
- [19] 国家气象局. 农业气象观测规范: 下卷 [M]. 北京: 气象出版社, 1993: 10-31.
- China Meteorological Administration. Observation specification of agro-meteorology: the next volume [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1993: 10-31.
- [20] 刘遵春,包东娥,廖明安. 层次分析法在金花梨果实品质评价上的应用 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(8): 125-128.
- Liu Z C, Bao D E, Liao M A. Application of analytic hierarchy process in evaluating Jinhua pear quality [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2006, 34(8): 125-128.
- [21] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 7-21.
- Huang J Y. Meteorological statistical analysis and prediction method [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000: 7-21.
- [22] 李玉群,杨泽敏,周竹青. 模糊聚类在稻米品质综合评价上的应用 [J]. 安徽农业科学, 2004, 32(3): 414-416.
- Li Y Q, Yang Z M, Zhou Z Q. Application of fuzzy clustering in comprehensive evaluation of rice quality [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2004, 32(3): 414-416.
- [23] 聂继云,李志霞,李海飞,等. 苹果理化品质评价指标研究 [J]. 中国农业科学, 2012, 45(14): 2895-2903.
- Nie J Y, Li Z X, Li H F, et al. Evaluation indices for apple physicochemical quality [J]. China Agriculture Science, 2012, 45(14): 2895-2903.
- [24] 徐淑伟,刘树庆,杨志新,等. 葡萄品质的评价及其与土壤质地的关系研究 [J]. 土壤, 2009, 41(5): 790-795.
- Xu S W, Liu S Q, Yang Z X, et al. Evaluation of grape quality and relationship between grape quality and soil texture [J]. Soils, 2009, 41(5): 790-795.
- [25] 方开泰. 有序样品的一些聚类方法 [J]. 应用数学学报, 1982, 5(1): 94-101.
- Fang K T. Some clustering methods for the order sample [J]. Acta Mathematicae Applicatae Sinica, 1982, 5(1): 94-101.
- [26] 李 德,孙 义,孙有丰. 淮北平原夏玉米花期高温热害综合气候指标研究 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(8): 1035-1044.
- Li D, Sun Y, Sun Y F. Use of integrated climatic index to determine high temperature damage to summer maize at florescence in the Huaibei plain [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(8): 1035-1044.
- [27] 中华人民共和国农业部. NY/T 1191—2006 砀山酥梨[S/OL]. (2006-12-06) [2016-05-25]. <http://www.zbgg.org/27/standardDetail853863.htm>.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 1191—2006 Dangshansu Pear [S/OL]. (2006-12-06) [2016-05-25]. <http://www.zbgg.org/27/standardDetail853863.htm>.
- [28] 华中农学院. 果树研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1979: 97-126.
- Huazhong Agricultural College. Research methods for fruit tree [M]. Beijing: Agricultural Press, 1979: 97-126.
- [29] 高侠莉,袁宗飞,刘晓峰. 砀山酥梨原产地与引种区果实品质的比较研究 [J]. 落叶果树, 1998(1): 22-23.
- Gao X L, Yuan Z F, Liu X F. A comparative study on fruit quality of Dangshansu pear from the original and introduced [J]. Deciduous Fruits, 1998(1): 22-23.
- [30] 李基平. 林木种子的正态分布曲线分级方法 [J]. 云南林业科技, 1998, 3(3): 37-41.
- Li J P. Normal distribution cure grade method of forest tree seeds [J]. Yunnan Forestry Science Technology, 1998, 3(3): 37-41.
- [31] 张振铭,张绍铃,乔勇进,等. 不同果袋对砀山酥梨果实品质的影响 [J]. 果树学报, 2006, 23(4): 510-514.
- Zhang Z M, Zhang S L, Qiao Y J, et al. Effect of bagging with different types of bags on fruit quality of Dangshansu pear cultivar [J]. Journal of Fruit Science, 2006, 23(4): 510-514.
- [32] 赵佳丽,李惠卓,高如泰,等. 河北省鸭梨品质的评价和相关性分析 [J]. 北方园艺, 2010(4): 26-28.
- Zhao J L, Li H Z, Gao R T, et al. Evaluation and correlation analysis on quality of Yali pear in Hebei province [J]. Northern Horticulture, 2010(4): 26-28.
- [33] 杨谦俊,吕 波,张现伟. 酥梨果实发育期土壤水分调控方法及对果实品质的影响 [J]. 中国农业气象, 2006, 27(3): 237-239.
- Yang Q J, Lu B, Zhang X W. Influence of regulation and control methods of soil moisture on quality of fruit in non-public nuisance crisp pear garden in area of old course of Yellow River [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2006, 27(3): 237-239.