

屈振江,郑小华,刘璐,等,2017. 陕西不同生态区苹果品质差异及与气象因子的关系[J]. 气象,43(7):872-878.

陕西不同生态区苹果品质差异及与气象因子的关系^{*}

屈振江¹ 郑小华² 刘璐¹ 张勇¹

¹ 陕西省经济作物气象服务台,西安 710015

² 陕西省气象台,西安 710015

提 要: 为做好苹果气候品质认证工作,基于 2013—2015 年陕西 31 个苹果种植生产基地县 155 片果园的果实品质调查数据和物候监测资料,应用灰色关联度分析和逐步回归方法,分延安果区、渭北东部果区、渭北西部果区和关中果区 4 个生态类型区,分析了苹果品质的分异特征,研究了影响苹果品质的关键物候期及主要气象因子。结果表明:各生态类型区的果形指数和可滴定酸含量较为一致,单果重、可溶性固形物含量和果实着色度差异较为明显。第一次膨大期最高气温、生长季最高气温和幼果期平均气温对苹果品质的影响最为显著。其中开花期和幼果期气温高、降水少,第一次膨大期气温低、日照多,着色期气温低、相对湿度大有利于提高陕西苹果品质。利用多元回归构建的品质预测模型拟合效果较好,可在业务中应用。

关键词: 苹果,品质,气象因子,相关分析

中图分类号: P49

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.07.011

Relationship Between Apple Quality and Meteorological Factors in Different Ecological Regions in Shaanxi

QU Zhenjiang¹ ZHENG Xiaohua² LIU Lu¹ ZHANG Yong¹

¹ Shaanxi Meteorological Service Station for Economic Crops, Xi'an 710015

² Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710015

Abstract: With the purpose of improving the certification of meteorological quality for apple, this paper utilizes the survey data as well as meteorological and phenological monitoring data and analyzes the quality of the apples from 31 planting and production bases and 155 orchards in Shaanxi by means of grey relational analysis and stepwise regression. The differences in the apple quality among the four ecological areas, namely Yanan area, eastern Weibei area, western Weibei area and Guanzhong area, are also analyzed. In addition, the key phenological period and meteorological factors are studied too. It is found that the fruit shape index and titratable acid content in those ecological areas are at similar levels. There is an obvious difference in the single fruit weight, soluble solid content and fruit coloring degree. The maximum temperature in the first fruit swelling period, the maximum temperature during the growth season and the average temperature in the young fruit period have very significant influences on apple quality. The quality of apples in Shaanxi can be enhanced by higher temperature and less rain in the bloom period and young fruit period, low temperature and abundant sunshine in the first swelling period as well as the low temperature and high relative humidity in the coloring period. The quality prediction model built through the multi-variable regression can achieve the better fitting effect and thus could be applied to the actual production.

Key words: apple, quality, meteorological factor, relational analysis

^{*} 中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2015M60)、中国气象局气候变化专项(CCSF201621)和陕西省经济作物气象服务台业务维持经费共同资助

2016 年 10 月 30 日收稿; 2017 年 3 月 8 日收修定稿

第一作者:屈振江,主要从事农业气象及气候变化研究. Email:nju_qzj@126.com

引 言

陕西地处黄土高原苹果优势产区的核心地带,苹果种植面积和产量均居全国首位,种植品种主要以富士为主,约占 80%左右(国家统计局,2014)。苹果种植业是陕西省农业经济的重要支柱产业,约占种植基地县农民收入的 70%(陕西省统计局和国家统计局陕西调查总队,2012)。随着种植面积及产量的增加,果业发展亟需从数量效益型向质量效益型转变。作物品质的优劣与气象等环境因子关系密切。近年来,气象部门围绕茶叶等特色作物开展了农产品气候品质认证工作(李剑萍等,2004;张晓煜等,2007;金志凤等,2015),得到了决策部门和市场的关注。通过对陕西主栽的富士苹果品质与气象因子的关系进行研究,可为科学客观地开展黄土高原主产区的苹果气候品质认证工作奠定基础。

国内外关于气象因子与苹果品质的关系已有较多研究(Carbonneau and Lespinasse,1988;Ubi et al,2006;Feng et al,2014,屈振江和周广胜,2016),普遍认为对苹果品质影响最为显著的是热量资源及不同生长阶段的温度条件,同时降水及日照与苹果单果重、着色及可溶性固形物含量等理化指标也有极高的相关性(Huang,1990;余优森和蒲永义,1991;朱琳和李怀川,2001;Awad et al,2001;郭碧云,2006;Qu and Zhou,2016)。陆秋农(1980)、张光伦(1994)、魏钦平等(1999)分别针对我国主产的元帅、国光和富士等品种,研究了苹果品质与气象因子的关系。特别是魏钦平等(1999)基于苹果品质调查数据和气象资料,定量研究并提出了影响富士苹果不同品质因素的主要气象因子。但上述研究均针对较大的时空尺度,涉及陕西果区的研究仅选取延安果区作为调查点,在生态类型区的代表性和适用性方面有一定局限性。另一方面,在全国尺度上研究影响果品品质的气象因子选择中,一般为年或者固定的月及旬时间尺度,忽略了各生态类型区苹果生长季长短和主要物候期的差异。从全国来看,对苹果品质影响最为关键的发育期,如花期、膨大期及着色期等各地差别较大(邵懿等,2015;屈振江等,2016;易灵伟等,2016),因此,利用全国统一时间尺度的气候因子与苹果品质的关系模型在中小尺度或典型生态区进行应用时可能会带来较大误差。陕西南北狭长,跨中温带、暖温带和北亚热带 3 个气候带(吕从

中,1996;柏秦凤等,2013;肖科丽等,2015),域内苹果种植分布较广,有必要考虑不同生态类型区的气候和物候差异,对苹果品质的分异特征及与气象因子的关系进行更为精细的研究。

本研究通过对 2013—2015 年陕西 4 个不同生态类型区共 31 个苹果主产县的苹果品质进行取样调查,利用气象和物候观测资料,应用灰色关联度分析和逐步回归方法,以期研究苹果品质的分异特征,并考虑不同类型区的物候差异,确定影响苹果品质理化指标的主要气象因子及关键物候期,为科学客观地开展苹果气候品质认证工作,促进苹果优质生产和合理区划提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究区域与气象资料

陕西苹果的主产区域主要分布在关中和渭北黄土高原区,确定重点发展的果业基地县目前已经达到了 41 个,在实际业务服务中,按照不同区域的气候特点及物候期差异划分为延安果区、渭北东部果区、渭北西部果区和关中果区。本研究选择了原有确定的 31 个重点基地县(图 1)。

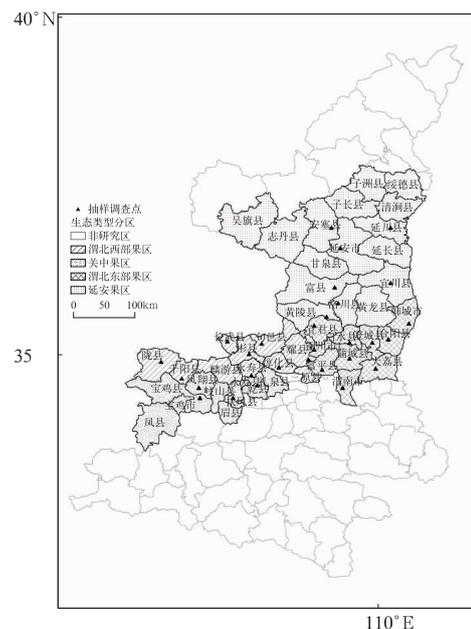


图 1 研究区域划分及苹果品质抽样调查点分布

Fig. 1 Regional division and apple quality sampling point distribution

气象资料来自于陕西省气象资料室,物候观测数据来自于陕西省经济作物气象服务台。从关键物候期及生长发育阶段来看,4个生态类型区之间及年际之间的差异较大(表1),因此,在影响因子选择上,以各生态区对应年份的物候期为准进行气象资料统计。其中,生长季(PG)以始花期—可采成熟期为统计时段,开花期(FP)以始花期之后10d为统计时段,幼果形成及果实细胞分裂期(YS)以开花期后20d为统计时段,第一次果实膨大期(EF)以始花期

之后30—60d为统计时段,第二次膨大期(ES)以花后第90—140d为统计时段,果实着色成熟期(MP)以可采成熟期前30d为统计时段。分别统计上述6个生长发育阶段的日照时数(S)、日照百分率(S_p)、最高气温(T_m)、最低气温(T_l)、平均气温(T_a)、日较差(T_d)、降水量(P)和空气湿度(RH)共48个气候因子作为待选因子。文中气候因子的表征方式为物候期_气象要素,例如以PG_S表征生长季的日照时数。

表1 研究时段各生态类型区苹果主要物候期及生长季差异

Table 1 Differences of main phenophase and growth season of apple in different ecotype areas during the study period

| 生态区 | 物候期/月-日 | | | | | |
|--------|---------|------|------|-------|-------|-------|
| | 始花期 | | | 可采成熟期 | | |
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2013 | 2014 | 2015 |
| 延安果区 | 4-8 | 4-19 | 4-10 | 10-13 | 10-16 | 10-12 |
| 渭北东部果区 | 4-3 | 4-8 | 4-20 | 9-27 | 9-29 | 10-8 |
| 渭北西部果区 | 4-9 | 4-17 | 4-20 | 10-6 | 10-2 | 10-10 |
| 关中果区 | 4-1 | 4-8 | 4-10 | 9-23 | 9-25 | 10-8 |

1.2 品质调查数据

2013—2015年9月下旬至10月上中旬苹果可采成熟期,对31个果业重点基地县的苹果品质进行取样调查,取样品种为红富士,每个县选取树龄8~15年、管理水平较高的果园5片,每片果园选取果树3棵,在不同方位及果树中央部位选择果实共9个进行品质测定。测定项目包括单果重、果形指数、果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量和着色度(红度),共获取31个县155片果园的苹果品质调查数据。

其中果实单果重、硬度、果形指数用GS-15水果质地分析仪(GUSS,南非)测定;可溶性固形物使用PAL-1型手持数显折光仪(ATAGO,日本)测定;可滴定酸采用GMK-835F果实酸度计(GWON,韩国)测定;果面色泽采用CR-400/410型色差计(MINOLTA,日本)测定果实赤道部位5个点 a 值。 a 表示色度,取值范围均为 $[-60,60]$, a 为正值时呈现红色,负值呈现绿色,其绝对值越大则红色或绿色越深。

1.3 研究方法

按照《鲜苹果》(GB/T 10651—2008)和《红富士苹果》(NY/T 1075—2006)的分级标准,用统计方法对4个生态类型区苹果品质的6个理化指标的分异

特征进行分析。

由于选择的潜在影响因子过多而样本数有限,因此采用对样本数要求较少的灰色关联度分析法,分别对影响果形指数、果实硬度、可溶性固形物含量及红度等理化指标的气象影响因子进行初步筛选。其中,灰色关联度分析法是针对灰色系统以决定因素主次及其相关联程度的一种方法,通过对因子观测数据进行无量纲化处理,计算关联系数和关联度,根据关联度排序筛选影响不同品质评价指标的潜在气候因子(马跃和李小宁,1992;戴楠,1996)。

然后利用逐步回归方法进行建模,采用观测值与模拟值之间的均方根误差(RMSE)对回归拟合度和可靠性进行检验(尹志聪等,2014;王婧等,2015)。其中,2013—2014年的资料用于建模,2015年的抽检资料用于对模型进行业务应用检验。

2 结果分析

2.1 不同类型区的品质差异

通过对155个果园的品质调查数据按照不同生态类型区的划分进行统计(表2)。可以看出,陕西苹果主产区的各项品质指标较高,但不同生态类型区的苹果品质有较为明显的差异。

单果重表征果实大小,是果实品质分级最为重

表 2 不同生态类型区富士苹果果实品质分析结果

Table 2 Analysis of fruit quality of Fuji apples in different ecological types

| | 单果重/g | 果形指数 | 果实硬度 /N·cm ⁻² | 可溶性固形物 含量/% | 可滴定酸 含量/% | 红度 |
|--------|--------|-------------|-----------------------------|----------------|--------------|------------|
| 延安果区 | 228±22 | 0.867±0.019 | 7.62±1.64 | 14.07±0.56 | 0.31±0.02 | 26.52±3.39 |
| 渭北东部果区 | 225±18 | 0.864±0.018 | 7.57±1.33 | 13.84±0.91 | 0.32±0.07 | 19.45±6.53 |
| 渭北西部果区 | 215±10 | 0.861±0.009 | 7.27±0.21 | 14.31±0.64 | 0.32±0.03 | 21.48±2.05 |
| 关中果区 | 234±24 | 0.865±0.021 | 6.83±0.34 | 12.49±0.39 | 0.29±0.03 | 23.27±3.11 |

要的性状之一。根据全国红富士苹果优质高产技术推广协作组提出的《红富士苹果规范化管理技术》(温树英,1993;聂继云等,2012;李卓等,2012),优质红富士单果重应在 200 g 以上。从调查数据来看,所有果区的单果重均达到了优质以上的标准。其中关中果区的单果重最高,但方差较大,其次是延安果区和渭北东部果区,而渭北西部果区单果重及其方差均相对较小。

果形指数是指果实的纵径与横径的比值,是评价苹果外观品质的重要表征。红富士标准果形指数应在 0.85 以上,即为圆锥形或长圆形。可以看出,4 个果区的果形指数均在 0.86 以上且差异不太明显,延安果区和关中果区相对较高。

苹果硬度指单位果面上所能承受的压力,按照《红富士苹果》行业标准(中华人民共和国农业部,2006),特级和一级红富士硬度应大于 6.5 N·cm⁻²,而国家标准《鲜苹果》规定优质鲜苹果硬度应达到 7 N·cm⁻² 以上(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会,2008)。4 个果区的果实硬度均达到或者超过了优果标准,其中延安果区的果实硬度最高,平均达到了 7.62 N·cm⁻²,渭北东部基本接近延安果区,关中果区果实硬度较小。

可溶性固形物是苹果的主要品质指标之一,它直接影响苹果的风味和营养成分。《红富士苹果》行业标准对于特级果和《鲜苹果》国家标准优质富士苹果的可溶性固形物含量均要求达到 13%,可以看出,除了关中果区略小于 13%外,其余 3 个果区均达到或超过了国家标准。其中渭北西部和延安果区最高,均超过了 14%。

苹果果实可滴定酸含量取决于果实有机酸,特别是苹果酸的含量,其是决定果实品质的一个重要因子。按照《红富士苹果》行业标准,特级红富士酸度含量应低于 0.4%。从统计可以看出,4 个果区的含酸量均低于 0.4%,其中关中果区最小,不到 0.3%,而

渭北东部和西部果区基本相当,在 0.32%左右。

从果皮红度来看,各地差异较大且各果区内的方差较大,其中延安果区的果品红度较高,着色程度远远好于其他 3 个果区,其次是关中果区。渭北东部果区的果实着色较差,且方差较大。

从不同生态类型区的差异看,延安果区果形最好、果实硬度最高,着色度远高于其他果区。关中果区单果重最大,但果实硬度、可溶性固形物含量和可滴定酸含量均较其他果区小。渭北西部果区的可溶性糖含量最高,糖酸比较高,硬度较关中果区大,但单果重和果形指数略小于其他果区。渭北东部果区果实硬度仅小于延安果区,可溶性固形物含量高于关中果区,但可滴定酸含量略高,而且果实着色较其他果区差。总体上,各生态类型区的果形指数和可滴定酸含量差异并不显著且方差较小,而单果重、可溶性固形物含量及果实着色度的差异较为明显且方差较大。

2.2 品质与气象因子的关系

利用灰色关联度分析法,分别对影响单果重、果形指数、果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量及红度等理化指标的气象因子进行初步筛选。遴选关联度排序结果前 5 位的影响因子为潜在影响因子参与建模(表 3)。

从结果来看(表略),48 个待选因子中,有 16 个因子对苹果品质有不同程度的影响,其中第一次膨大期最高气温、生长季最高气温和幼果期平均气温对各理化指标的影响最为显著。气候因子与果实着色红度的关联系数普遍较低,均不足 0.80,而与其余理化指标的关联系数均大于 0.85,特别是与果形指数和可溶性固形物含量的关联系数接近 0.90,说明气象环境因子对果形和口感有较大的影响。

基于灰色关联度分析提取的主要影响因子,采用多元逐步线性回归方法分别建立了不同品质指标的回归方程(表 4)。

表 3 苹果果实品质影响因子的灰色关联度排序

Table 3 Factor sequencing of gray correlation degree for fruit quality of apples

| 排序 | 单果重 | 果形指数 | 果实硬度 | 可溶性固形物含量 | 可滴定酸含量 | 红度 |
|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | EF_{T_a} | YS_{T_a} | YS_{T_a} | EF_{T_m} | EF_{T_m} | MP_{RH} |
| 2 | YS_{T_a} | EF_{T_m} | EF_{T_a} | EF_S | PG_{T_m} | PG_{T_d} |
| 3 | FP_{T_i} | ES_{T_m} | FP_{RH} | PG_P | ES_{T_m} | PG_{S_p} |
| 4 | ES_{T_a} | PG_{T_m} | PG_{T_m} | PG_{T_d} | YS_{T_m} | MP_{T_a} |
| 5 | EF_P | ES_{RH} | FP_P | EF_{S_p} | MP_{RH} | PG_S |

表 4 不同品质理化指标的回归方程

Table 4 Regression equation of physical and chemical properties of different qualities

| 品质指标 | 回归方程 | F | 偏相关系数 |
|----------|---|----------|---|
| 单果重 | $\hat{Y} = 257.786 + 7.083 \times FP_{T_i} - 8.098 \times EF_{T_a} + 4.934 \times YS_{T_a}$ | 5.782* | $R(FP_{T_i}) = 0.613^{**}$ $R(EF_{T_a}) = -0.595^*$ $R(YS_{T_a}) = 0.513^*$ |
| 果形指数 | $\hat{Y} = 0.955 - 0.004 \times EF_{T_m} + 0.01 \times YS_{T_a}$ | 7.225** | $R(EF_{T_m}) = -0.585^{**}$ $R(YS_{T_a}) = -0.565^*$ |
| 果实硬度 | $\hat{Y} = 3.817 + 0.094 \times EF_{T_a} + 0.026 \times FP_{RH} - 0.011 \times FP_P$ | 5.683* | $R(EF_{T_a}) = 0.546^*$ $R(FP_{RH}) = 0.635^{**}$ $R(FP_P) = -0.504^*$ |
| 可溶性固形物含量 | $\hat{Y} = 11.863 + 0.015 \times EF_S - 0.003 \times PG_P$ | 7.472** | $R(EF_S) = 0.624^{**}$ $R(PG_P) = -0.563^*$ |
| 可滴定酸含量 | $\hat{Y} = -0.243 + 0.014 \times EF_{T_m} + 0.02 \times MP_{RH}$ | 10.139** | $R(EF_{T_m}) = 0.632^{**}$ $R(MP_{RH}) = 0.536^*$ |
| 红度 | $\hat{Y} = 17.748 - 0.737 \times MP_{T_a} + 0.219 \times MP_{RH}$ | 13.646** | $R(MP_{T_a}) = -0.610^*$ $R(MP_{RH}) = -0.553^*$ |

注: * 为 $P < 0.05$, ** 为 $P < 0.01$ 。Note: * mean $P < 0.05$, ** mean $P < 0.01$.

从回归分析结果可以看出,花期最低气温和幼果期的平均气温越高,单果重越大,而膨大期的气温越高单果重越小。特别是开花期的最低气温与单果重的相关性极显著。究其原因,一方面,果实单果重主要取决于细胞的大小和数目,而花期、幼果期、膨大期是细胞分裂和生长的关键时期,适宜的气温和降水条件有利于单果重的提高(魏钦平等,1998;郭碧云,2006)。另外一方面与陕西果区的气候特点有较大关系,虽然苹果喜冷凉气候,但花期和幼果期特别是花期容易遭受低温冻害(屈振江等,2013),因此这个时段的气温相对偏高还有利于坐果和细胞分裂,而膨大期气温一般较适宜温度略高,气温大于 30°C 日数较多时果实变小,适度的低温有利于单果重增加。

在影响果形指数的气象因子中,膨大期的最高气温与果形指数负相关,而幼果期的平均气温是正效应。虽然果形指数主要受制于不同品种的遗传特性,但不同的气象环境对同一品种的果形也有一定的影响,膨大期和生长季的最高气温是限制果形指数提高的重要因素(魏钦平等,1998;Qu and Zhou,

2016)。虽然基于全国尺度的研究认为苹果花后15~16 d气温冷凉(张光伦,1994;魏钦平等,1998),果形指数增大,但陕西果区幼果期的气温普遍偏低,平均气温高反而有利于果形指数的提高,限制果形指数的因子主要是最高气温。

与果实硬度关联系数较高的气象因子与影响果形指数的因子较为一致,果实生长越慢,细胞间的结合力和组织结构紧密,反之细胞组织疏松,果实硬度偏低。果实的生长速率与温度和降水有关,同时,花期的相对湿度可能在生殖生长阶段对果实硬度的后期形成有一定的影响。回归分析结果显示,第一次膨大期的平均气温与开花期的相对湿度与果实硬度均呈现出正效应,而花期的降水对果实硬度有显著的负效应。

糖分的形成和转化积累一般对温度有较大依赖,日较差大夜温低也有利于糖分的转化,而在全日照60%时糖分含量达到最大值(余优森和蒲永义,1991;张光伦,1994;魏钦平等,1998)。从表4可以看出,第一次膨大期的日照时数对可溶性固形物含量有正效应,达到了极显著负相关,而生长季节的降

水过多不利于糖分累积,这与已有的研究结论是一致的(Qu and Zhou,2016)。

可滴定酸是糖的不完全氧化产物,也与温度条件特别是最高气温密切相关,与其关联度较高的气象因子中,第一次膨大期的最高气温高或着色成熟期的相对湿度大,均可能提高果实的可滴定酸含量。其中,可滴定酸含量与第一次膨大期最高气温的相关性极显著。

果实着色主要对光照条件和空气湿度有较高的要求,特别对光照最为敏感,要使果实着色最佳,适宜光照水平应该为全日照的70%左右(Huang,1990;魏钦平等,1998)。从表4可以看出,着色成熟期的平均气温偏高不利于果皮花青素的形成,影响着色,而着色期的空气相对湿润则有利于苹果着色。

2.3 业务检验

利用2015年苹果品质抽检数据和相应的气象资料,对多元回归模型的模拟效果进行了检验。结果显示,对单果重、果形指数、果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量及红度等理化指标的模拟值与抽检数据符合度较好,RMSE分别为14.912、0.055、0.347、0.920、0.031、10.462,预测效果达到较高精度,特别是用于量化表征果品品质的可滴定酸含量、可溶性糖含量和果形指数的拟合精度较高。证明可以利用回归模型使用关键物候期的气候因子预测站点附近的苹果品质,这可用于区域气候品质认证及产地气候适宜度评价服务。

3 结论与讨论

通过对陕西31个苹果生产县近3年的品质调查,结合物候和气象观测数据,应用统计方法分析了不同生态类型区苹果品质的分异特征,利用灰色关联度分析和逐步回归,研究了影响苹果品质形成的关键物候期及主要气象因子。得到以下结论:

各主产区的各项品质指标均接近或超过了国家标准中确定的优果指标,但不同生态类型区的苹果品质有较为明显的差异。其中延安果区果形最好、果实硬度最高,着色度远高于其他果区。关中果区单果重最大,渭北西部果区的可溶性糖含量最高,渭北东部和西部果区的可滴定酸含量相对较高。

气象因子对果实着色的影响相对较小,对果形指数和可溶性固形物含量的影响较为显著。在影响

品质的气候因子中,第一次膨大期最高气温、生长季最高气温和幼果期平均气温最为显著。开花期最低气温高、降水少有利于提高单果重和果实硬度。幼果期平均气温高有利于提高单果重和果形指数。第一次膨大期平均气温低有利于提高单果重,最高气温低有利于提高果形指数同时降低果实酸度。生长季降水少、膨大期日照多有利于提高可溶性固形物含量。同时,着色期相对湿度高、平均气温低有利于提高着色红度。建立的不同品质理化指标的多元回归模型拟合效果较好,经过检验可以应用于业务。

现有基于全国尺度的研究中忽略了各地的气候特征和物候差异,由于不同生态类型区气候特点和生长季不同,限制和影响品质形成的关键物候期和主要气象因子应该有所区别,本研究的结论与全国尺度的研究结果有一些差异,也表明将基于全国尺度拟合的年、季和月固定时段的气象影响因子应用于特定区域时可能会产生较大误差。同时,苹果品质的形成除受到气象等环境因子影响外,也受土壤、水肥及栽培管理水平等因素的综合影响,目前各主产区利用改善土壤有机质含量、着色期铺设反光膜等技术措施在提高果品品质方面已经取得了较好的应用效果。各因子的偏相关虽然通过显著性水平检验,但与前期研究相比,相关系数普遍较低,说明生产技术的进步对品质的提升效应增加,环境因子的贡献率有所降低。因此应用研究结果时应考虑各影响因素的协同效应。

参考文献

- 柏秦凤,王景红,郭新,等,2013.基于县域单元的陕西苹果越冬冻害风险分布[J].气象,39(11):1507-1513.
- 戴楠,1996.灰色关联序在多元回归模型的自变量选择中之应用[J].中国农村水利水电,(5):6-8.
- 郭碧云,2006.陕西生态因子与苹果品质相关性研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学:8-10.
- 国家统计局,2014.中国农业统计年鉴2014[M].北京:中国统计出版社.
- 金志凤,王治海,姚益平,等,2015.浙江省茶叶气候品质等级评价[J].生态学杂志,34(5):1456-1463.
- 李剑萍,张学艺,刘静,2004.枸杞外观品质与气象条件的关系[J].气象,30(4):51-54.
- 李卓,郭玉蓉,孙立军,等,2012.不同产地长富2号苹果品质差异及其与地理坐标的相关性[J].陕西师范大学学报:自然科学版,40(4):104-109.
- 陆秋农,1980.我国苹果的分布区划与生态因子[J].中国农业科学,13(1):46-51.
- 吕从中,1996.陕西气候与农业发展[J].陕西气象,(6):18-21.

- 马跃,李小宁,1992.红富士苹果品质与气候生态因素的相关分析研究[J].烟台果树,(3):12-14.
- 聂继云,李志霞,李海飞,等,2012.苹果理化品质评价指标研究[J].中国农业科学,45(14):2895-2903.
- 屈振江,刘瑞芳,郭兆夏,等,2013.陕西省苹果花期冻害风险评估及预测技术研究[J].自然灾害学报,22(1):219-225.
- 屈振江,周广胜,2016.中国富士苹果种植的气候适宜性研究[J].气象学报,74(3):479-490.
- 屈振江,周广胜,魏钦平,2016.苹果花期冻害气象指标和风险评估[J].应用气象学报,27(4):385-395.
- 陕西省统计局,国家统计局陕西调查总队,2012.陕西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社.
- 邵娜,柳艳菊,李多,等,2015.2015年春季我国主要气候特征及其成因分析[J].气象,41(10):1292-1297.
- 王婧,徐枝芳,范广洲,等,2015. GRAPES_RAFS 系统 2 m 温度偏差订正方法研究[J].气象,41(6):719-726.
- 魏钦平,程述汉,唐芳,等,1999.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,10(3):289-292.
- 魏钦平,李嘉瑞,束怀瑞,1998.苹果品质与生态因子关系的研究[J].山东农业大学学报:自然科学版,29(4):532-536.
- 温树英,1993.红富士苹果规范化管理技术要点[J].北方果树,(1):31-33.
- 肖科丽,赵国令,方建刚,等,2015.陕西汛期降水年际增量预测新技术研究[J].气象,41(3):328-335.
- 易灵伟,杨爱萍,余焰文,等,2016.基于气候适宜指数的江西晚稻产量动态预报模型构建及应用[J].气象,42(7):885-891.
- 尹志聪,袁东敏,丁德平,等,2014.香山红叶变色日气象统计预测方法研究[J].气象,40(2):229-233.
- 余优森,蒲永义,1991.苹果品质与气象条件关系的研究[J].气象,17(3):22-26.
- 张光伦,1994.生态因子对果实品质的影响[J].果树学报,11(2):120-124.
- 张晓煜,刘玉兰,张磊,等,2007.气象条件对酿酒葡萄若干品质因子的影响[J].中国农业气象,28(3):326-330.
- 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. GB/T 10651—2008[S]. 鲜苹果. 北京:中国标准出版社.
- 中华人民共和国农业部,2006. NY/T 1075—2006. 红富士苹果[S]. 北京:中国标准出版社.
- 朱琳,李怀川,2001.陕西省富士系苹果品质形态气候条件分析及区划[J].中国农业气象,22(4):50-53.
- Awad M A, Wagenmakers P S, de Jager A, 2001. Effects of light on flavonoid and chlorogenic acid levels in the skin of 'Jonagold' apples[J]. Sci Hortic, 88(4):289-298.
- Carboneau A, Lespinasse J M, 1988. Influence of canopy management on microclimate and photosynthesis—first consequences on apple production[G]. Inter Symp Res Dev Orch Plant Sys, 243:185-194.
- Feng F, Li M, Ma F, et al, 2014. Effects of location within the tree canopy on carbohydrates, organic acids, amino acids and phenolic compounds in the fruit peel and flesh from three apple (*Malus × domestica*) cultivars[J]. Hortic Res. DOI:10.1038/hortres.2014.19.
- Huang S B, 1990. Agroclimatology of the major fruit production in China: a review of current practice[J]. Agr Forest Meteorol, 53(1):125-142.
- Qu Z, Zhou G, 2016. Possible impact of climate change on the quality of apples from the major producing areas of China[J]. Atmosphere, 7(9):113.
- Ubi B E, Honda C, Bessho H, et al, 2006. Expression analysis of anthocyanin biosynthetic genes in apple skin; effect of UV-B and temperature[J]. Plant Sci, 170(3):571-578.