

冯梅,王晶晶,张世卿,等.不同产地冬枣的果实品质及其与气象因子的相关性分析[J].山西农业科学,2025,53(3):91-99.
FENG M, WANG J J, ZHANG S Q, et al. Analysis of fruit quality of winter jujube from different regions and its correlation with meteorological factors[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(3):91-99.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.03.11

不同产地冬枣的果实品质及其与气象因子的相关性分析

冯梅¹,王晶晶²,张世卿³,曹亚军¹,王华强¹,肖莉娟¹

(1.新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所,新疆阿拉尔843300;2.新疆农垦科学院,新疆石河子832000;
3.新疆生产建设兵团第一师农业技术推广中心,新疆阿拉尔843300)

摘要:为探究不同产地冬枣的果实品质及其与气象因子的关系,选取陕西大荔县及新疆兵团一师11团、二师22团、三师50团4个产地的冬枣果实作为试材,通过综合分析气象因子与冬枣果实品质之间的相关性,以明确影响冬枣果实品质的关键气象因子。结果表明,不同产地冬枣果实在形态、质地特性、口感特征、营养成分以及生物活性方面存在显著差异。其中,单果质量、黏着性、总酸、全N、总黄酮和蔗糖合成酶SS-II活性的变异系数最大。相关性分析结果表明,年均气温与果实的纵径、果形指数、硒含量和可溶性酸性转化酶S-AI活性呈显著或极显著负相关,而与果实的黏着性呈极显著正相关;太阳辐射与果形指数、还原糖含量、可溶性酸性转化酶S-AI活性呈显著或极显著正相关;日照率与还原糖含量呈显著正相关;年均日照时数与纵径、果形指数、还原糖含量、硒含量、可溶性酸性转化酶S-AI活性呈显著或极显著正相关,而与黏着性、淀粉含量呈极显著负相关;年均蒸发量与果实的弹性和还原型抗坏血酸(ASA)含量呈极显著正相关;无霜期与可溶性糖含量和果糖含量呈显著正相关。综上所述,选择年均气温适中、光照充足、蒸发量适中且无霜期较长的气候条件,有助于提高冬枣的产量和品质。

关键词:冬枣;果实品质;气象因子;变异系数;相关性分析

中图分类号:S665.1

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2025)03-0091-09

Analysis of Fruit Quality of Winter Jujube from Different Regions and Its Correlation with Meteorological Factors

FENG Mei¹, WANG Jingjing², ZHANG Shiqing³, CAO Yajun¹, WANG Huaqiang¹, XIAO Lijuan¹

(1.The First Division Agricultural Science Institute of Xinjiang Production and Construction Corps, Aral 843300, China;
2.Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi 832000, China;3.The First Division Agricultural
Technology Extension Center of Xinjiang Production and Construction Corps, Aral 843300, China)

Abstract: To investigate the fruit quality of winter jujube from different regions and its relationship with meteorological factors, in this study, winter jujube fruits from four regions of Dali County in Shaanxi province, and the 11th Regiment of the 1st Division, the 22nd Regiment of the 2nd Division, and the 50th Regiment of the 3rd Division of the Xinjiang Production and Construction Corps were selected as tested materials. Through comprehensive analysis of the interactions between meteorological factors and winter jujube fruit quality, the key meteorological factors affecting fruit quality were identified. The results showed that significant differences were observed in the morphology, texture characteristics, taste attributes, nutritional composition, and bioactive components of winter jujube fruits from different regions. Among these, single fruit weight, adhesiveness, total acidity, total nitrogen, total flavonoids, and sucrose synthase SS-II activity exhibited the highest coefficients of variation. The correlation analysis results indicated that the average annual temperature was significantly or extremely significantly negatively correlated with the longitudinal diameter, fruit shape index, selenium content, and soluble acidic invertase S-AI activity of the fruit, while it showed an extremely significantly positive correlation with fruit viscosity. Solar radiation had a significantly or extremely significantly positive correlation with the fruit shape index, reducing sugar

收稿日期:2024-07-10

基金项目:新疆兵团青年科技创新人才计划(2023CB007-04);新疆兵团重大科技项目“揭榜挂帅”(2022AA003)

作者简介:冯梅,助理研究员,硕士,主要从事果树育种及栽培技术研究,E-mail:528186822@qq.com

通信作者:王晶晶,研究员,硕士,主要从事果树栽培生理研究,E-mail:xwangjj530@163.com

content, and soluble acidic invertase S-AI activity. The sunlight rate was significantly positively correlated with reducing sugar content. The average annual sunshine hours showed a significantly or extremely significantly positive correlations with longitudinal diameter, fruit shape index, reducing sugar content, selenium content, and soluble acidic invertase S-AI activity, while it exhibited an extremely significantly negative correlation with viscosity and starch content. The average annual evaporation was extremely significantly positively correlated with fruit elasticity and ascorbic acid(ASA) content. The frost-free period was significantly positively correlated with soluble sugar and fructose. In summary, the meteorological conditions such as moderate average annual temperature, sufficient sunlight, moderate evaporation, and a long frost-free period could facilitate to enhance fruit yield and quality.

Keywords: winter jujube; fruit quality; meteorological factors; coefficient of variation; correlation analysis

冬枣是我国备受欢迎的鲜食枣品种,以其皮薄、肉质脆嫩和优良的品质而受到消费者广泛青睐^[1],主要种植区域包括山东省的滨州、德州、聊城、东营及河北省的沧州、衡水等地。近年来,冬枣的种植面积显著扩大,市场需求持续上升^[2]。果实品质的形成与调控是果树学研究中的重要领域,对市场竞争力具有显著影响。影响果实品质的主要因素包括感官品质、营养成分、质地、风味等^[3]。国内外研究表明,冬枣的成熟及其品质受到多种因素的影响,包括品种选择、遗传特性、栽培管理措施、灌溉及施肥策略、综合环境条件等。其中,自然环境因素尤其是气象和土壤条件,对冬枣的产量和果实品质形成起着关键作用。气象因子是果树生态区划、种植基地选择与栽培措施制定的重要依据^[4]。当前,冬枣研究的重点主要集中在不同栽培管理方式、年份和个体遗传因素对果实品质的影响^[5]。同时,研究者们还关注冬枣营养成分的发育动态^[6]、采摘处理、储存和保鲜等方面的问题^[7],以不断优化冬枣的外观、营养和风味品质。然而,针对不同产地冬枣品质差异的研究仍显不

足,缺乏对不同产地冬枣的外观质量、质地特性、营养成分、酶活性及抗氧化物质等方面的分析。

本研究对陕西大荔县及新疆生产建设兵团第一师 11 团、第二师 22 团、第三师 50 团等 4 个冬枣产地的果实进行系统分析,比较不同产地冬枣的果实品质及其与气象因子的关系,以明确影响冬枣品质的关键气象因子,为今后冬枣的种植及品质提升提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

以 10 年生冬枣为试材,样品采集地点位于陕西省大荔县、新疆生产建设兵团第一师 11 团、第二师 22 团和第三师 50 团的冬枣主要产区,各产地气象因子如表 1 所示。每个产地选择 4 个健康、成熟、无病虫害且具代表性的冬枣园,在每个生产园内,随机选择 10 株冬枣树进行标记。陕西省大荔县采集时间为 2023 年 8 月 18 日,新疆生产建设兵团各师采集时间为 2023 年 9 月 6 日,所采集的样品成熟度一致。

表 1 不同冬枣产地的气象因子情况

Tab.1 Meteorological factors in different winter jujube production areas

产地 Place of origin	年均气温/°C Average annual temperature	太阳辐射/ (kcal/cm ²) Solar radiation	日照率/% Sunlight rate	年均日照时数/h Average annual sunshine hours	年均蒸发量/mm Average annual evaporation	无霜期/d Frost-free period
一师 11 团 11th regiment of the 1st division	10.7	146.30	58.69	2 761.9	2 000.00	209
二师 22 团 22nd regiment of the 2nd division	11.4	156.80	60.00	2 990.0	1 196.95	210
三师 50 团 50th regiment of the 3rd division	12.8	145.00	66.00	2 935.0	1 988.40	225
陕西大荔县 Dali county, Shaanxi province	14.4	121.61	47.00	2 200.0	968.30	214

采样时,从每株树的树冠中部外围东、南、西、北 4 个方位分别随机采摘 10 个果,每株树共采集 40 个果实,将每个产地的 4 个枣园采集的样品

混合,使用专用果蔬保鲜袋包装,带回实验室后存入 0 °C 冷库中保存,用于果实外观特征、质地、营养成分、酶活性等相关指标测定。每个产地随机选

取30个果实进行测定,取平均值。

1.2 试验方法

1.2.1 果实外观特征 利用数显游标卡尺测量果实的纵径和横径;通过精度为万分之一的天平称量单果质量,果形指数为果实纵径与横径的比值。

1.2.2 果实质地 采用TPA^[8]模式,使用食品物性分析仪TMS-PRO(Food Technology Corporation),配备直径75 mm的圆柱形探头对果实质地进行测定。果肉快速切片后置于质构仪平台,测试参数设置为测前速度和测试速度均为60 mm/min,起始力为2N,果肉变形度为10%。计算出果肉硬度(最大力值)、黏着性(曲线下方面积)、内聚性(第2次曲线与第1次曲线面积比)、弹性(恢复时间)、回复性(恢复到原始形状的能力)和咀嚼性(硬度与弹性的乘积)。采用直径10 mm的穿刺探头进行整果穿刺试验,测前、测中和测后速度均为60 mm/min,穿刺深度为10 mm,果肉硬度(最大穿刺力)、最大模量(应力与应变比值)、最大硬度时穿刺位移、果皮硬度(穿刺果皮所需的最大力)、果皮做功(穿刺果皮所需能量)和果肉做功(穿刺果肉所需能量),均由物性分析仪软件自动计算。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 果实营养成分 参考高俊凤^[9]的方法,采用硝酸乙醇法测定纤维素含量,高氯酸水解法测定

淀粉含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,用高效液相色谱法(HPLC)测定果糖含量,采用盐酸水解法测定蔗糖含量,使用滴定法测定还原糖含量,采用酸碱中和滴定法测定总酸含量。采用重铬酸钾-硫酸氧化法测定全C含量,采用微量凯氏定氮法测定全N含量,用钒钼黄比色法测定全P含量,采用火焰光度法测定全K含量,使用氢化物-发生原子荧光法测定硒含量。总黄酮含量测定参考JIA等^[10]的方法,采用重铬酸钾-硫酸氧化法测定有机C含量,使用2,6-二氯靛酚滴定法测定还原型抗坏血酸(ASA)含量。

1.3.2 果实酶活性 采用HPLC法测定蔗糖合成酶SS-II活性,使用3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法测定可溶性酸性转化酶S-AI活性。

1.4 数据分析

采用Excel 2007软件对不同产区冬枣果实品质指标数据进行计算,并用SPSS 22.0软件进行差异性及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 冬枣果实外观品质差异性比较

由表2可知,冬枣的平均纵径为36.35 mm,平均横径为36.12 mm,果形指数为1.02,平均单果质量为23.36 g。

表2 不同产地冬枣果实外观品质差异性分析

Tab.2 Analysis of appearance quality differences of winter jujube fruits from different origins

产地 Place of origin	纵径/mm Longitudinal diameter	横径/mm Horizontal diameter	果形指数 Fruit shape index	单果质量/g Single fruit weight
一师11团 11th regiment of the 1st division	40.19±0.37a	41.66±0.39a	1.04±0.01a	30.49±0.59a
二师22团 22nd regiment of the 2nd division	37.80±0.39b	36.64±0.32b	1.03±0.02a	25.76±0.37b
三师50团 50th regiment of the 3rd division	35.26±1.65c	34.03±0.89c	1.02±0.05a	20.29±1.72c
陕西大荔县 Dali county, Shaanxi province	32.15±0.39d	32.14±0.36d	0.97±0.02a	16.90±0.33d
平均值 Average value	36.35	36.12	1.02	23.36
变异系数/% CV	9.49	11.43	3.06	25.66

注:不同小写字母表示不同产地间在0.05水平上差异显著。下表同。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences among different place of origin at the 0.05 level. The same as below.

不同产地冬枣果实外在品质指标中,一师冬枣的纵径、横径、果形指数和单果质量最大,且除果形指数外,其余指标均存在显著差异($P < 0.05$)。通过变异系数分析发现,单果质量的变异系数最大,为25.66%。

2.2 冬枣果实质地特性差异性比较

由表3可知,冬枣果实平均硬度为610.82 gf,

脆度为579.31 gf,黏着性为-72.05 gf*sec,弹性为0.98 mm,咀嚼性为130.81 gf,胶着性为133.80 gf,内聚性为0.22,回复性为5.57。

不同产地冬枣果实质地特性指标中,三师冬枣的果实硬度、脆度、咀嚼性和胶着性最大,冬枣果实硬度在部分地区存在显著差异($P < 0.05$),而脆度、咀嚼性和胶着性在不同产地间均存在显著

差异 ($P < 0.05$); 一师冬枣的果实黏着性最大, 不同产地间冬枣黏着性存在显著差异 ($P < 0.05$), 果实弹性和内聚性无显著差异; 二师冬枣的果实回复性最大, 且部分地区间冬枣回复性存在显著差

异 ($P < 0.05$)。通过变异系数分析发现, 冬枣果实质地特性指标中咀嚼性、胶着性、回复性、黏着性变异系数均在 20% 以上, 其中, 黏着性最大, 为 38.24%。

表 3 不同产地冬枣果实质地特性差异性分析

Tab.3 Analysis of texture characteristics differences of winter jujube fruits from different origins

产地 Place of origin	硬度/gf Hardness	脆度/gf Crispness	黏着性/(gf*sec) Viscosity adherence	弹性/mm Elasticity	咀嚼性/gf Chewiness	胶着性/gf Gumminess	内聚性 Cohesiveness	回复性 Resilience
一师 11 团 11th regiment of the 1st division	674.01±44.88ab	643.61±46.08b	-95.50±12.95a	0.98±0.01a	143.00±12.71b	145.73±12.82b	0.22±0.02a	6.23±0.65ab
二师 22 团 22nd regiment of the 2nd division	447.11±35.86d	447.11±35.86d	-77.95±12.25c	0.97±0.01a	87.57±9.03d	89.99±9.17d	0.20±0.01a	7.33±1.56a
三师 50 团 50th regiment of the 3rd division	726.04±50.39a	676.12±68.09a	-82.49±6.30b	0.98±0.01a	194.92±20.84a	198.21±20.62a	0.27±0.01a	4.31±0.54c
陕西大荔县 Dali county, Shaanxi province	596.10±40.61bc	550.40±38.45c	-32.25±10.59d	0.97±0.01a	97.75±15.58c	101.25±17.10c	0.18±0.03a	4.40±0.80bc
平均值 Average value	610.82	579.31	-72.05	0.98	130.81	133.80	0.22	5.57
变异系数/% CV	19.89	17.78	-38.24	0.59	37.51	36.79	17.76	26.42

2.3 冬枣果实营养成分差异性比较

2.3.1 冬枣果实糖类物质差异性比较 由表 4 可知, 冬枣果实平均纤维素含量为 2.74%, 淀粉含量

为 86.2 mg/g, 可溶性糖含量为 183.47 mg/g, 果糖含量为 109.60 mg/g, 蔗糖含量为 68.54 mg/g, 还原糖含量为 77.95 mg/g, 总酸含量为 1.79 g/kg。

表 4 不同产地冬枣果实糖类物质差异性分析

Tab.4 Analysis of sugars differences of winter jujube fruits from different origins

产地 Place of origin	纤维素含量/% Cellulose content	淀粉含量/(mg/g) Starch content	可溶性糖含量/(mg/g) Soluble sugar content	果糖含量/(mg/g) Fructose content	蔗糖含量/(mg/g) Sucrose content	还原糖含量/(mg/g) Reducing sugar content	总酸含量/(g/kg) Total acid content
一师 11 团 11th regiment of the 1st division	2.92±0.01a	96.41±0.24a	169.20±0.26b	105.26±0.00c	68.14±1.95c	79.5±2.89b	1.06±0.02ab
二师 22 团 22nd regiment of the 2nd division	2.13±0.06a	77.94±0.37d	168.10±0.22b	86.95±0.27d	46.06±3.63d	90.77±3.18a	0.85±0.04b
三师 50 团 50th regiment of the 3rd division	2.74±0.03a	81.85±0.70c	236.12±0.01a	136.64±4.03a	83.57±2.67a	90.48±3.75a	2.37±0.03ab
陕西大荔县 Dali county, Shaanxi province	3.16±0.01a	88.60±0.01b	160.46±0.40c	109.54±0.18b	76.38±0.71b	51.06±4.33c	2.88±0.02a
平均值 Average value	2.74	86.20	183.47	109.60	68.54	77.95	1.79
变异系数/% CV	16.07	9.40	19.25	18.72	23.72	23.96	55.31

不同产地冬枣果实糖类物质中, 纤维素含量无显著差异; 一师冬枣的果实淀粉含量最多, 且不同产地间冬枣淀粉含量存在显著差异 ($P < 0.05$); 三师冬枣的果实可溶性糖、果糖、蔗糖含量最多, 可溶性糖含量在部分地区间存在显著差异 ($P < 0.05$), 果实果糖、蔗糖含量在不同产地间存在显著差异 ($P < 0.05$); 二师冬枣的果实还原糖含量最多, 部分地区间冬枣还原糖含量存在显著差异

($P < 0.05$); 大荔冬枣的果实总酸含量最多, 部分地区间冬枣总酸含量存在显著差异 ($P < 0.05$)。通过变异系数分析发现, 冬枣果实糖类物质中蔗糖含量、还原糖含量、总酸含量变异系数均在 20% 以上, 其中, 总酸含量变异系数最大, 为 55.31%。

2.3.2 冬枣果实矿物质差异性比较 从表 5 可以看出, 冬枣果实全 C 含量为 36.25%, 全 N 含量为 0.22 g/100 g, 全 P 含量为 0.4 g/kg, 全 K 含量为

3.93 g/kg, 硒含量为 0.05 mg/kg。

表 5 不同产地冬枣果实矿物质差异性分析

Tab.5 Analysis of mineral differences of winter jujube fruits from different origins

产地 Place of origin	全 C 含量/% Total carbon content	全 N 含量/(g/100 g) Total nitrogen content	全 P 含量/(g/kg) Total phosphorus content	全 K 含量/(g/kg) Total potassium content	硒含量/(mg/kg) Selenium content
一师 11 团 11th regiment of the 1st division	42.06±1.08a	0.22±0.01a	0.43±0.01a	3.67±0.01a	0.055±0.002a
二师 22 团 22nd regiment of the 2nd division	39.45±0.58b	0.16±0a	0.43±0.04a	3.54±0.02a	0.049±0.001a
三师 50 团 50th regiment of the 3rd division	32.81±0.10c	0.25±0.01a	0.37±0.02a	4.19±0.04a	0.049±0.002a
陕西大荔县 Dali county, Shaanxi province	30.69±0.74d	0.26±0.01a	0.37±0.04a	4.32±0.01a	0.042±0.003a
平均值 Average value	36.25	0.22	0.40	3.93	0.05
变异系数/% CV	14.83	20.22	8.66	9.74	10.90

不同产地冬枣果实矿物质中,一师冬枣的全 C 含量最多,不同产地冬枣全 C 含量存在显著差异 ($P<0.05$);不同产地全 N、全 P、全 K 和硒含量无显著差异。通过变异系数分析发现,冬枣果实矿物质指标中,全 N 含量变异系数最大,为 20.22%。

2.3.3 冬枣果实抗氧化物质差异性比较 从表 6 可以看出,冬枣果实总黄酮含量为 3.47 mg/g,有机 C 含量为 32.53%,还原型抗坏血酸含量为 2 567.87 $\mu\text{g/g}$ 。

表 6 不同产地冬枣果实抗氧化物质差异性分析

Tab.6 Analysis of antioxidant substances differences of winter jujube fruits from different origins

产地 Place of origin	总黄酮含量/(mg/g) Total flavonoid content	有机 C 含量/% Organic carbon content	还原型抗坏血酸含量/($\mu\text{g/g}$) Reduced ascorbic acid content
一师 11 团 11th regiment of the 1st division	4.17±0.07a	35.31±0.18a	2 839.47±5.77b
二师 22 团 22nd regiment of the 2nd division	4.25±0.074a	34.96±1.05a	2 224.46±6.93d
三师 50 团 50th regiment of the 3rd division	2.05±0.03b	31.25±0.18b	2 916.26±8.66a
陕西大荔县 Dali county, Shaanxi province	3.41±0.14ab	28.58±0.32c	2 291.28±6.35c
平均值 Average value	3.47	32.53	2 567.87
变异系数/% CV	29.38	9.86	14.03

不同产地冬枣果实抗氧化物质中,二师冬枣的果实总黄酮含量最多,部分地区间冬枣总黄酮含量存在显著差异 ($P<0.05$);一师冬枣的果实有机 C 含量最多,部分地区间冬枣有机 C 含量存在显著差异 ($P<0.05$);三师冬枣的果实还原型抗坏血酸含量最多,部分地区间冬枣还原型抗坏血酸含量存在显著差异 ($P<0.05$)。通过变异系数分析

发现,冬枣果实总黄酮含量的变异系数最大,为 29.38%。

2.4 冬枣果实酶活性差异性比较

从表 7 可以看出,冬枣果实蔗糖合成酶 SS-II 活性为 202.03 U/g,可溶性酸性转化酶 S-AI 活性为 11 577.98 U/g。

表 7 不同产地冬枣果实酶活性差异性分析

Tab.7 Analysis of enzyme activity differences of winter jujube fruits from different origins

产地 Place of origin	蔗糖合成酶 SS-II 活性/(U/g) Sucrose synthase SS-II activity	可溶性酸性转化酶 S-AI 活性/(U/g) Soluble acid invertase S-AI activity
一师 11 团 11th regiment of the 1st division	187.37±2.31b	11 791.59±11.55c
二师 22 团 22nd regiment of the 2nd division	167.68±2.77c	12 437.78±11.55a
三师 50 团 50th regiment of the 3rd division	319.29±3.46a	11 876.69±17.32b
陕西大荔县 Dali county, Shaanxi province	133.78±3.00d	10 205.87±12.70d
平均值 Average value	202.03	11 577.98
变异系数/% CV	40.21	8.28

不同产地冬枣果实酶活性指标中,三师冬枣的蔗糖合成酶 SS-II 活性最大,不同产地冬枣蔗糖合成酶 SS-II 活性存在显著差异($P<0.05$);二师冬枣的果实可溶性酸性转化酶 S-AI 活性最大,不同产地间冬枣可溶性酸性转化酶 S-AI 活性存在显著差异($P<0.05$)。通过变异系数分析发现,冬枣果实蔗糖合成酶 SS-II 活性的变异系数最大,为 40.21%。

2.5 相关性分析

2.5.1 气象因子与果实外观品质的相关性 由表 8 可知,年均气温与果实纵径呈显著负相关($P<0.05$),与果形指数呈极显著负相关($P<0.01$);太阳辐射与果形指数呈显著正相关($P<0.05$);年均日照时数与纵径呈显著正相关($P<0.05$),与果形指数呈极显著正相关($P<0.01$)。

表 8 气象因子与冬枣果实外观品质间相关性分析

Tab.8 Correlation analysis between meteorological factors and winter jujube fruit appearance quality

项目 Item	年均气温 Average annual temperature	太阳辐射 Solar radiation	日照率 Sunlight rate	年均日照时数 Average annual sunshine hours	年均蒸发量 Average annual evaporation	无霜期 Frost-free pe- riod
纵径 Longitudinal diameter	-0.92*	0.78	0.52	0.92*	0.58	-0.49
横径 Horizontal diameter	-0.80	0.58	0.32	0.85	0.56	-0.58
果形指数 Fruit shape index	-1.00**	0.91*	0.79	1.00**	0.69	-0.19
单果质量 Single fruit weight	-0.85	0.71	0.39	0.83	0.50	-0.60

注:*表示 $P<0.05$ 显著相关;**表示 $P<0.01$ 极显著相关。下表同。

Note: * indicated significant correlation at $P<0.05$, ** indicated extremely significant correlation at $P<0.01$. The same as below.

2.5.2 气象因子与果实质地的相关性 从表 9 可以看出,年均气温与黏着性呈极显著正相关($P<0.01$);年均日照时数与黏着性呈极显著正相关

($P<0.01$);年均蒸发量与弹性呈极显著正相关($P<0.01$)。

表 9 气象因子与冬枣果实质地间相关性分析

Tab.9 Correlation analysis between meteorological factors and winter jujube fruit texture characteristics

项目 Item	年均气温 Average annual temperature	太阳辐射 Solar radiation	日照率 Sunlight rate	年均日照时数 Average annual sunshine hours	年均蒸发量 Average annual evaporation	无霜期 Frost-free pe- riod
硬度 Hardness	-0.11	-0.28	0.28	0.10	0.75	0.60
脆度 Crispness	-0.22	-0.17	0.36	0.01	0.82	0.56
黏着性 Stickiness adherence	0.99**	-0.84	-0.84	0.99**	-0.82	0.04
弹性 Elasticity	-0.62	0.25	0.64	0.45	0.98**	0.39
咀嚼性 Chewiness	-0.40	0.13	0.68	0.37	0.87	0.76
胶着性 Gumminess	-0.39	0.12	0.68	0.36	0.86	0.76
内聚性 Cohesiveness	-0.55	0.39	0.87	0.63	0.84	0.75
回复性 Resilience	-0.59	0.75	0.19	0.53	-0.08	-0.75

2.5.3 气象因子与果实营养成分的相关性 从表 10 可以看出,年均气温与硒含量和有机 C 含量呈显著负相关($P<0.05$);太阳辐射、日照率与还原糖含量呈显著正相关($P<0.05$);年均日照时数与还原糖、硒含量呈极显著正相关($P<0.01$),与淀粉含量呈显著负相关($P<0.05$);年均蒸发量与血酸 ASA 含量呈极显著正相关($P<0.01$);无霜期与

可溶性糖、果糖含量呈显著正相关($P<0.05$),与总黄酮含量呈极显著负相关($P<0.01$)。

2.5.4 气象因子与果实酶活性的相关性 由表 11 可知,年均气温与可溶性酸性转化酶 S-AI 活性呈显著负相关($P<0.05$);太阳辐射和年均日照时数与可溶性酸性转化酶 S-AI 活性呈极显著正相关($P<0.01$)。

表 10 气象因子与冬枣果实营养成分间相关性分析

Tab.10 Correlation analysis between meteorological factors and winter jujube fruit nutritional components

项目 Item	年均气温 Average annual temperature	太阳辐射 Solar radiation	日照率 Sunlight rate	年均日照时数 Average annual sunshine hours	年均蒸发量 Average annual evaporation	无霜期 Frost-free pe- riod
纤维素含量 Cellulose content	0.53	-0.86	-0.54	-0.79	0.07	0.16
淀粉含量 Starch content	-0.02	-0.39	-0.37	-0.95*	0.32	-0.37
可溶性糖含量 Soluble sugar content	-0.28	0.22	0.75	0.48	0.63	0.92*
果糖含量 Fructose content	0.08	-0.30	0.34	-0.02	0.55	0.91*
蔗糖含量 Sucrose content	0.34	-0.62	-0.03	-0.39	0.38	0.72
还原糖含量 Reducing sugar content	-0.87	0.94*	0.95*	1.00**	0.58	0.19
总酸含量 Total acid content	0.81	-0.85	-0.41	-0.68	-0.24	0.63
全C含量 Total carbon content	-0.82	0.73	0.34	0.56	0.37	-0.67
全N含量 Total nitrogen content	0.54	-0.81	-0.30	-0.63	0.15	0.57
全P含量 Total phosphorus content	-0.69	0.71	0.21	0.49	0.13	-0.79
全K含量 Total potassium content	0.75	-0.82	-0.35	-0.63	-0.15	0.68
硒含量 Selenium Content	-0.95*	0.71	0.64	1.00**	0.79	-0.25
总黄酮含量 Total flavonoid content	-0.19	0.25	-0.36	-0.03	-0.34	-0.99**
有机C含量 Organic carbon content	-0.90*	0.87	0.52	0.73	0.41	-0.53
血酸ASA含量 Reduced ascorbic acid ASA content	-0.54	0.17	0.62	0.35	0.96**	0.49

表 11 气象因子与冬枣果实酶活性间相关性分析

Tab.11 Correlation analysis between meteorological factors and winter jujube fruit enzyme activity

项目 Item	年均气温 Average annual temperature	太阳辐射 Solar radiation	日照率 Sunlight rate	年均日照时数 Average annual sunshine hours	年均蒸发量 Average annual evaporation	无霜期 Frost-free pe- riod
蔗糖合成酶SS-II活性 Sucrose synthase SS-II activity	-0.43	0.32	0.83	0.58	0.74	0.84
可溶性酸性转化酶S-AI活性 Soluble acid invertase S-AI activity	-0.90*	1.00**	0.85	0.98**	0.47	-0.06

3 结论与讨论

果实品质的形成与调控已成为果树学研究的关键领域,对果品在市场上的竞争力有着重要影响。果实品质主要涵盖感官品质、营养品质、质地品质和风味品质等方面^[11]。本研究对不同产地冬枣果实品质指标进行了系统分析,揭示了冬枣在不同产地存在多样性,特别是在果实形态(纵径、横径和单果质量)、质地特性(硬度、脆度)、口感特征(黏着性、咀嚼性、胶着性、弹性、内聚性和回复性)、营养成分(糖类:可溶性糖、果糖、蔗糖、还原糖和总酸;矿物质:全C;抗氧化物质:总黄酮、有机C、还原型抗坏血酸ASA)以及生物活性(蔗糖合成酶SS-II、可溶性酸性转化酶S-AI)等方面,表现出显著的区域特性,各指标的变异系数为0.59%~55.31%,说明这4个产地的冬枣果实具有

不同程度的地理分离,其中,单果质量、咀嚼性、胶着性、回复性、黏着性、蔗糖含量、还原糖含量、总酸含量、全N、总黄酮、蔗糖合成酶SS-II活性的变异系数均在20%以上,说明这些指标在4个产地表现出较大的差异。JIANG等^[12]研究发现,产地的生态环境(土壤类型、气候条件)以及栽培管理方法、气候等因素是引起该差异的主要原因。

气象因子是果树生态区划、种植基地选择及栽培措施制定的重要依据^[4]。温度是各生态因子中研究最多、最重要的因素。许多研究表明,果实的着色^[12-13]、糖分积累^[14]、风味形成^[15]以及果实裂果^[16]受温度影响。温度不仅决定果树生存、生长、产量形成和品质,还是植物生长的最基本因子,它影响果实大小、风味、含糖量、色泽、V_C等^[17]。本研究发现,年均气温与果实的纵径、果形指数、硒含量和可溶性酸性转化酶S-AI活性呈显著或极显

著负相关,而与果实的黏着性呈极显著正相关。表明气温的变化对果实的生长发育及其营养成分有重要影响。较高的年均气温可能导致果实生长过快,从而影响其形态特征和营养积累,降低果实的纵径和品质指标。同时,气温升高促使果实中黏着性物质的增加,可能与果实成熟过程中的生理变化有关。

光照是植物生长发育的关键环境因子之一,对作物的生长和果实品质形成起着至关重要的作用。在果实发育过程中,光照不仅影响光合作用的效率,还直接关系到果实的糖分积累、酸性物质的转化及相关酶的活性^[18]。因此,研究光照对果实品质的影响机制,对于提高果实产量和品质具有重要的实际意义。本研究发现,太阳辐射与果形指数、还原糖含量、可溶性酸性转化酶 S-AI 活性呈显著/极显著正相关;日照率与还原糖含量呈显著正相关,年均日照时数与纵径、果形指数、还原糖含量、硒含量、可溶性酸性转化酶 S-AI 活性呈显著/极显著正相关,而与黏着性、淀粉含量呈极显著负相关。这些结果表明,充足的光照条件能够促进果实中还原糖的积累,从而提升果实的甜度与风味。此外,日照时数的增加也与果实的生长发育指标,如纵径和果形指数呈正相关,说明光照能够促进果实的正常发育。相反,过高的光照强度可能导致淀粉含量的增加和果实黏着性的升高,从而影响果实的口感和市场接受度。因此,合理调控光照条件,能够优化冬枣果实的品质,提高其市场竞争力。

蒸发量作为衡量气候条件的重要指标,不仅影响土壤水分和植物生长环境,还对果实的生理特性产生深远影响。本研究发现,年均蒸发量与果实的弹性和 ASA 含量呈极显著正相关,表明蒸发量的增加对果实的生理特性有显著影响。较高的蒸发量通常与干旱条件相关,这种环境可能促使植物增强水分利用效率,从而提高果实的弹性。在水分不足的情况下,植物会激活一系列生理机制以适应环境压力,其中,包括合成更多的抗坏血酸,以帮助维持细胞的渗透平衡,从而保护细胞结构和功能。抗坏血酸不仅在植物应对干旱过程中发挥重要作用,还可能影响果实的口感和营养价值。因此,适当的蒸发量对于提高果实的弹性和品质至关重要。

果树无霜期时进行光合作用和营养积累,促

进开花和结果,增加果实产量,提高果实的质量和风味。本研究表明,无霜期与可溶性糖和果糖呈显著正相关,表明较长的无霜期有助于果实在温暖环境中积累更多的糖分,提升果实的甜味和风味。这一现象可能是由于无霜期延长促进了光合作用及光合产物的转化,增强了果实的糖分积累。然而,无霜期与总黄酮含量呈极显著负相关,表明在较长的无霜期内,果实中总黄酮含量可能下降,这可能与温度过高或光照强度变化导致的植物代谢调节有关,从而影响抗氧化物质的合成。

综上所述,各种气象因子对冬枣的生长、果实品质及其营养成分具有显著影响。因此,在冬枣栽培过程中,选择年均气温适中、光照充足、蒸发量适中且无霜期较长的气候条件,有助于提高冬枣果实的产量和品质,从而提升其市场竞争力。为实现高品质冬枣的生产,果农应综合考虑这些气象因素,并根据具体种植区域的气候特点,制定相应的栽培管理策略。

参考文献:

- [1] 何宇. 3种生物保鲜剂对冬枣保鲜效果的影响[J]. 山西农业科学, 2023, 51(8): 928-934.
HE Y. Effects of three biological preservatives on the preservation of winter jujube[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2023, 51(8): 928-934.
- [2] 吴玉蓉, 张栋海, 崔钰雪, 等. 三种生长调节剂对设施冬枣新梢生长及果实品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2024, 63(1): 112-115.
WU Y R, ZHANG D H, CUI Y X, et al. Effects of three growth regulators on shoot growth and fruit quality of winter jujube cultivated in facilities[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2024, 63(1): 112-115.
- [3] 胡新艳, 王贵禧, 梁丽松, 等. 不同肥料对冬枣果实品质发育的影响[J]. 林业科学研究, 2007, 20(6): 750-754.
HU X Y, WANG G X, LIANG L S, et al. Fruit quality of *Zizyphus jujube* mill. cv. 'Dongzao' influenced by different kinds of fertilizer[J]. Forest Research, 2007, 20(6): 750-754.
- [4] 陶炼, 杨文渊, 谢红江, 等. 西藏不同生态型区苹果品质评价及其对气象因子的响应[J]. 植物科学学报, 2018, 36(1): 86-93.
TAO L, YANG W Y, XIE H J, et al. Quality evaluation of 'Golden Delicious' apple from different ecological regions in Tibet and its response to meteorological factors[J]. Plant Science Journal, 2018, 36(1): 86-93.
- [5] 马庆华, 续九如, 王贵禧, 等. 河北和山东冬枣果实品质评价及 AFLP 分子标记的研究[J]. 林业科学研究, 2009, 22(1): 48-54.
MA Q H, XU J R, WANG G X, et al. Studies on the fruit quality and AFLP markers of *Zizyphus jujuba* cv. Dongzao from He-

- bei and Shandong province[J]. Forest Research, 2009, 22(1): 48-54.
- [6] 彭艳芳,李洁,赵仁邦,等. 金丝小枣和冬枣果实发育过程中低聚糖和多糖含量的动态研究[J]. 果树学报, 2008, 25(6): 846-850.
- PENG Y F, LI J, ZHAO R B, et al. Variations of oligosaccharide and polysaccharide contents in the fruit of Dongzao and Jinxiaozao jujube cultivars during fruit development[J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(6): 846-850.
- [7] 孙丽娜,刘孟臣,朱树华,等. 一氧化氮处理对冬枣贮藏期间乙醇代谢及相关品质的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(12): 2827-2834.
- SUN L N, LIU M C, ZHU S H, et al. Effect of nitric oxide treatment on ethanol metabolism and relative appearance quality of Chinese winter jujube during storage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(12): 2827-2834.
- [8] 杨玲,肖龙,王强,等. 质地多面分析(TPA)法测定苹果果肉质地特性[J]. 果树学报, 2014, 31(5): 977-985.
- YANG L, XIAO L, WANG Q, et al. Study on texture properties of apple flesh by using texture profile analysis[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(5): 977-985.
- [9] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- GAO J F. Experimental guidance for plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [10] JIA Z S, TANG M C, WU J M. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals[J]. Food Chemistry, 1999, 64(4): 555-559.
- [11] 李鹏霞,王贵禧,梁丽松,等. 高氧处理对冬枣货架期呼吸强度及品质变化的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 180-183.
- LI P X, WANG G X, LIANG L S, et al. Effects of high-oxygen treatments on respiration intensity and quality of 'Dongzao' Jujube during shelf-life[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(7): 180-183.
- [12] JIANG W Q, CHEN L H, HAN Y R, et al. Effects of elevated temperature and drought stress on fruit coloration in the jujube variety 'Lingwuchangzao' (*Ziziphus jujube* cv. Lingwuchangzao)[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 274: 109667.
- [13] 李运毛,陆晖,李翔,等. 灵武长枣果实光泽度及其品质的调查与分析[J]. 河南农业科学, 2024, 53(10): 127-137.
- LI Y M, LU H, LI X, et al. Investigation and analysis of the glossiness of fruit and its quality of *Ziziphus jujuba* mill. cv. 'Lingwuchangzao'[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2024, 53(10): 127-137.
- [14] WU B P, ZHANG C, GAO Y B, et al. Changes in sugar accumulation and related enzyme activities of red bayberry (*Myrica rubra*) in greenhouse cultivation[J]. Horticulturae, 2021, 7(11): 429.
- [15] AN X W, WANG Z J, LI J M, et al. Analysis of flavor-related compounds in fermented persimmon beverages stored at different temperatures[J]. Food Science and Technology, 2022, 163: 113524.
- [16] TARABIH M E. Utilization of sunscreen particles film with shading to control sunburn and fruit cracking of wonderful pomegranate[J]. Journal of Environmental Science and Technology, 2020, 13(2): 69-85.
- [17] 朱攀攀. 不同气候区沃柑果实产量和品质比较研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- ZHU P P. Comparative study on fruit yield and quality of Wogan in different climate zones[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [18] 罗青红,史彦江,宋锋惠,等. 不同产地杂交榛果实品质比较分析[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 50-54.
- LUO Q H, SHI Y J, SONG F H, et al. Comparative analysis of the quality of hybrid hazels from different growing areas[J]. Food Science, 2013, 34(3): 50-54.