

山西大同黄花菜品质的影响因素与 关键气象因子模型构建

赵丽平¹, 裴克莉¹, 赵海明¹, 张清扬², 官燕¹, 张宇杰³, 乔云红¹, 王大勇⁴

(1. 山西省气象服务中心, 山西太原 030002; 2. 中国农业大学, 北京 100089;

3. 南京信息工程大学, 江苏南京 210044; 4. 山西省气候中心, 山西太原 030006)

摘要: 为了提高黄花菜的品质和产量, 根据 2019—2021 年山西省大同市云州区不同产区黄花菜营养成分检测结果, 采用数据分析、模型构建等方法, 探究了影响黄花菜品质的气象因子等因素, 构建了各因素与黄花菜适宜度的非线性回归模型, 揭示了各因素对黄花菜品质的影响机制。结果表明, 干黄花菜中粗纤维含量与青苗期和抽薹期平均最低气温呈现显著正相关, 相关系数均为 0.695 0; 可溶性总糖含量与黄花菜抽薹期平均最高气温和气温日较差呈现显著正相关, 相关系数分别为 0.719 7 和 0.733 3。维生素 B₂ 含量与全生育期内平均最高气温和气温日较差呈显著负相关关系, 其相关系数均为 -0.700 0。总氨基酸含量与黄花菜出苗期 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温呈显著负相关关系, 其相关系数为 -0.728 0; 与青苗期和抽薹期平均最低气温呈极显著正相关关系, 其相关系数分别为 0.828 5 和 0.920 5。同时, 土壤环境温度变化、气象因素、生化因素是影响黄花菜适宜度的三大关键因素, 影响着黄花菜生长和发育的全过程。因此, 要把握各大影响因素与黄花菜品质的关系, 采取科学的种植技术和管理指导, 提高黄花菜品质和市场竞争力, 推动地方农业经济的可持续发展。

关键词: 黄花菜; 品质; 模型; 气象因子; 相关性

中图分类号: S644.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2024)02-0110-10

Model Construction of Influencing Factors and Key Meteorological Factors of Daylily Quality in Datong of Shanxi Province

ZHAO Liping¹, PEI Keli¹, ZHAO Haiming¹, ZHANG Qingyang², GONG Yan¹,
ZHANG Yujie³, QIAO Yunhong¹, WANG Dayong³

(1. Shanxi Provincial Meteorological Service Center, Taiyuan 030002, China; 2. China Agricultural
University, Beijing 100089, China; 3. Nanjing University of Information Science and Technology,
Nanjing 210044, China; 4. Shanxi Climate Center, Taiyuan 030006, China)

Abstract: In order to improve the quality and yield of daylily, based on the nutritional content testing results of daylily in different production areas of Yunzhou District, Datong City, Shanxi Province from 2019 to 2021, data analysis and model construction methods were used to explore meteorological factors and other factors that affect the quality of daylily. A nonlinear regression model was constructed to determine the suitability of each factor for daylily, revealing the mechanism of their impact on the quality of daylily. The results showed that the crude fiber content in dried daylily was significantly positively correlated with the average lowest temperature during the seedling and bolting stages, with correlation coefficients of 0.695 0. The soluble total sugar content was significantly positively correlated with the average highest temperature and daily temperature range during the bolting stage of daylily, with correlation coefficients of 0.719 7 and 0.733 3. There was a significant negative correlation between vitamin B₂ and the average highest temperature and daily temperature range throughout the entire growth period, with correlation coefficients of -0.700 0. There was a significant negative correlation between total amino acids and accumulated temperature of $\geq 5^{\circ}\text{C}$ during the emergence stage of daylily, with a correlation coefficient of -0.728 0. There was an extremely significant positive correlation with the average lowest temperature during the seedling and bolting stages, with correlation coefficients of 0.828 5 and 0.920 5. Meanwhile, changes in soil environmental temperature, meteorological factors, and biochemical factors were the three key factors affecting the suitability of daylily, affecting the entire process of its growth and development. Therefore, it was necessary to grasp the relationship between various influencing factors and the quality of daylily,

收稿日期: 2023-01-09

基金项目: 中国气象局公共气象服务中心创新基金项目(M2021008); 山西省气象局重点项目(SXKZDQH20226304)

作者简介: 赵丽平(1976-), 女, 山西孝义人, 高级工程师, 硕士, 主要从事农业气象、应用气象等研究工作。

通信作者: 王大勇(1982-), 男, 黑龙江鸡东人, 高级工程师, 硕士, 主要从事气候预测、气候变化与应用气候等研究工作。

adopt scientific planting techniques and management guidance, improve the quality and market competitiveness of daylily, and promote the sustainable development of local agricultural economy.

Key words: daylily (*Hemerocallis citrina*); quality; model; meteorological factors; correlation

黄花菜是一种传统食材,它又名金针菜、马齿菜、忘忧草、黄花野菜、黄花苜蓿等,属于马齿苋科黄花菜属多年生宿根草本植物^[1]。我国是世界上马齿苋科植物种类最多、分布最广的国家,同时也是黄花菜种植面积最大的国家^[2-3]。山西大同是我国黄花菜主产地之一,有“黄花之乡”盛名。截至2021年,大同市黄花种植总面积达到1.77万hm²,覆盖全市8个区县,鲜菜产量达18万t,干菜产量2.1万t,总产值达42亿元^[4]。黄花菜是集食、药、观赏价值于一体的经济作物,它富含蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、矿物质等多种成分,具有丰富的营养价值^[5]。黄花菜品质包含色泽、口感、香味、质地等多方面因素,是影响消费者购买和食用意愿的重要因素。因此,研究黄花菜品质的影响因素和关键气象因子,对提高黄花菜品质和促进黄花菜产业发展具有重要作用^[6-7]。

目前国内已对黄花菜进行了大量研究,李效珍等^[8]分析晋北地区黄花菜主产区气象条件发现其主要生育期气温呈升高趋势,关键生育期降水、冰雹日数、日照时数呈减少趋势。陈臻皓等^[9]针对德化黄花种植的气候条件及主要气象灾害进行了分析。高志慧^[10]对比了湖南省祁东县、四川省渠县、湖南省邵东县、山西省大同县、甘肃省庆阳县5个地区的干黄花菜营养品质,发现大同县干黄花菜的可溶性蛋白含量最多。周玲玲等^[11]分析了苏北地区不同黄花菜品种的生长发育特性及营养品质特征,找出适宜苏北地区生长的最优品种。同时在黄花菜的栽培方法以及病虫害的发生特点与防治等方面也有大量的研究^[12-16]。

前人对黄花菜生长气候适宜性以及营养成分等方面分别进行了大量研究,但针对黄花菜品质特征与生长地气候相关性的研究很少。为落实国家“一县一产业”政策,促进山西省大同市黄花菜产业发展,本研究通过对比山西省大同市云州区不同黄花菜产区干黄花营养品质特征,找出云州区不同黄花菜产区的优质营养品质特征,通过建立营养品质特征与当地气候因子的相关关系,使用统计和模型方法筛选影响黄花菜品质特征的关键因素,为黄花菜生产和品质管理以及产业发展提供精准气象服务。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

山西省大同市云州区位于东经113.3°~113.9°,北纬39.7°~40.3°,平均海拔1157m,属温带大陆性季风气候,四季分明:春季风大沙多,干旱少雨;夏季雨热同步,降水集中,全区平均气温为6.5℃,极端最高气温为37.2℃,1月最冷,平均气温-12℃,7月最热,平均气温高于20℃;多年平均相对湿度54%,全年日照时数为2973h,平均无霜期为137d。大同云州区雨热同期,多年平均降水量386.8mm,主要集中在6—8月,年均蒸发量为1909mm,主要集中在4—8月。受地势影响,全年主导风向为东北风,年平均风速2.9m/s,风速随季节变化明显,春季最大,夏秋季最小^[15]。大同市云州区的气候条件较适宜黄花菜生长,良好的气象条件为保障黄花菜品质奠定了重要基础。

1.2 试验材料

采用产自全国绿色食品原料(黄花菜)标准化生产基地的大同黄花作为试验材料。

1.3 试验方法

在大同市黄花菜产区选取高、中、低产3类地块进行研究,3类试验地分别位于云州区的吉家庄乡、周士庄镇和西坪镇,面积均在0.1hm²以上,且黄花种植年份均为2a以上。在每类试验田均安装农田小气候观测仪一套,并按照农业气象观测规范要求进行观测,试验田选取3个重复小区,出苗后选择有代表性的黄花菜植株作标记,进行发育期、高度、密度、病虫害及产量等要素观测。

在黄花菜即将进入苗期(3月中下旬)施腐熟的农家肥1500kg/hm²、N5kg/hm²、P₂O₅3kg/hm²、K₂O5kg/hm²,滴灌2次(每次用水量均为35m³/hm²)或大水漫灌1次(用水量为60m³/hm²),以提高地温,促进苗齐、苗壮;黄花菜抽薹期(4月上旬)施腐熟的农家肥1000kg/hm²、N5kg/hm²、P₂O₅2kg/hm²、K₂O54kg/hm²,滴灌1次(用水量为25m³/hm²)或大水漫灌1次(用水量为50m³/hm²)。各试验田操作保持一致。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 发育期观测 人工观测记录定植移栽日期;

幼苗出土约 2 cm 时记录出苗日期;主茎上长出分蘖,长约 2 cm 时,记录分蘖日期;主茎迅速伸长,有明显的薹子,长约 2 cm 时,记录抽薹日期;花蕾饱满、含苞待放,记录采收日期及采收末期日期。

1.4.2 生长状况观测 在每个选定的小区内,选取生长状况均匀、长势良好的 3 穴植株标记,观测如下生长状态:①植株高度:分别在分蘖、抽薹和采收期进行观测,抽薹前从土壤表面量至伸直的最高叶尖;抽薹后量至主茎花蕾的顶端。②分蘖数:对标记植株进行分蘖数观测。自分蘖开始至抽薹前结束,每 5 天进行一次观测。③抽薹数:对标记植株进行抽薹数观测。自抽薹开始至采收结束,每 5 d 进行一次观测。④产量观测:在采收成熟期,对选定小区内的植株进行产量测定,观测项目为单株质量、百花质量(鲜、干)。

1.4.3 生理品质测定 选取不同产区的干黄花菜,按照 GB5009.124—2016 等检测依据,测定蛋白质、脂肪、粗纤维、可溶性总糖、维生素 B₂ 和总氨基酸含量等。

1.4.4 气象数据测定 利用农田小气候观测仪,实时采集试验地的温度、湿度、光照、风速等气象数据,以获取影响黄花菜品质的气象因素详细信息。以 3 个地区省级气象站 1991—2021 年气象资料作为试验材料,分别选取黄花菜出苗期、青苗期、抽薹期、开花期等全生育阶段的平均气温(T_{ave})、平均最高气温(T_{max})、平均最低气温(T_{min})、气温日较差(即一天内最高温度和最低温度之间差(Diurnal temperature range)、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温(Accumulated temperature)和降水量(Precipitation)等作为黄花菜品质气象影响因素。

1.5 数据分析和模型构建

试验采用 Matlab 软件进行数据处理和分析,采用回归分析方法进行模型构建。

2 结果与分析

2.1 不同产区黄花菜品质分析

试验选取大同市云州区吉家庄乡、周士庄镇和西坪镇 2019—2021 年的干黄花菜进行品质检测,对不同产区黄花菜营养成分含量进行评价,结果如图 1 所示。由图 1 可知,西坪镇产区的黄花菜较其他产区的黄花菜品质更优,其蛋白质、脂肪、粗纤维、维生素 B₂、总氨基酸的含量均高于其他 2 个产区。其中,西坪镇产区黄花菜的蛋白质、脂肪、粗纤维以及总氨基酸含量分别为 35.2%、36.5%、

34.6% 和 34.9%;维生素 B₂ 含量为 61.0%,是周士庄镇的 4.7 倍,是吉家庄乡的 2.3 倍;吉家庄乡产区黄花菜的可溶性糖含量为 34.5%,高于其他 2 个产区。总体上看,西坪镇产区的黄花菜较其他产区的黄花菜营养成分含量更高。

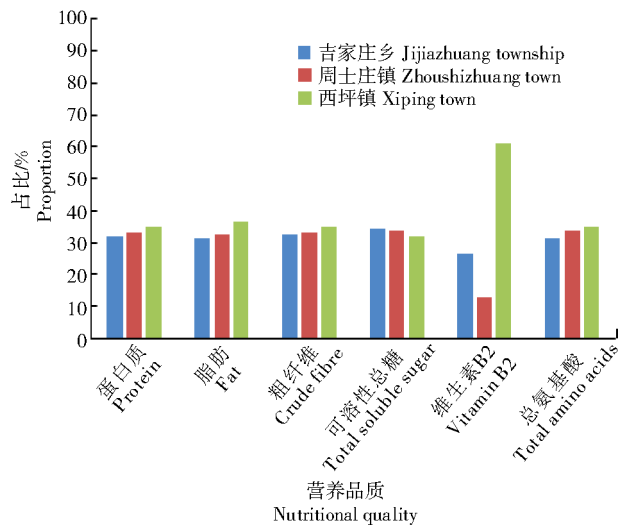


图 1 不同产区黄花菜营养成分含量
Fig.1 Nutrient content of daylily in different production areas

2.2 黄花菜品质与气象因子的相关性分析

黄花菜品质的好坏受土壤、气象、病虫害、防腐处理、采摘管理等因素影响,尤其是温度、湿度、日照、降雨量、日较差等气象因素,对黄花菜品质有着直接影响^[17-20]。结合 2019—2021 年大同市气象资料,利用 Matlab 软件和斯皮尔曼相关系数工具,对大同市云州区不同产区这一时段的干黄花品质与黄花菜不同生育阶段,以及整个生育期平均气温、平均最高气温、平均最低气温、气温日较差、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温及降水量的关系,进行气象因子与黄花菜品质的相关性分析和显著性检验,其相关系数及显著性检验结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,干黄花中蛋白质和脂肪含量与各生育阶段及整个生育期平均气温、平均最高气温、平均最低气温、气温日较差、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温和降水量之间相关性不显著。干黄花菜中粗纤维含量与青苗期和抽薹期平均最低气温呈现显著正相关($R=0.6950$)。可溶性总糖含量与黄花菜抽薹期的气象关系比较密切,与抽薹期平均最高气温和气温日较差呈现显著正相关,相关系数分别为 0.7197 和 0.7333,表明在抽薹期较高温度和昼夜温差较大的条件下有利于黄花菜中可溶性总糖的积累。维生素 B₂ 与全生育期内平均最高气温和气温日较差

呈显著负相关($R=-0.7000$),说明高温不利于黄花菜中维生素B₂的积累。总氨基酸与黄花菜出苗期 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温呈显著负相关($R=-0.7280$);与青苗

期和抽薹期平均最低气温呈极显著正相关,其相关系数分别为0.8285和0.9205,表明青苗期和抽薹期低温有利于黄花菜中氨基酸的积累。

表1 不同生育阶段及整个生育期气象因子与干黄花菜品质间相关性
Tab.1 Correlation between meteorological factors and the quality of dried daylily at different growth stages and the whole reproductive period

生育阶段 Growth stage	气象因子 Meteorological factor	蛋白质 Protein	脂肪 Fat	粗纤维 Crude fibre	可溶性总糖 Total soluble sugar	维生素B ₂ Vitamin B ₂	总氨基酸 Total amino acids
出苗期 Seeding stage	Tave	-0.1017	-0.0426	-0.4916	0.1167	-0.0333	-0.6611
	Tmax	-0.0170	0.3065	0.3051	-0.1167	-0.1833	0.3347
	Tmin	0.1865	0.1532	-0.1526	-0.2000	0.1333	-0.3849
	Diurnal temperature range	-0.3051	0.0426	-0.0170	0.2167	-0.4667	0.0753
	Accumulated temperature	-0.3051	-0.2809	-0.4916	0.3000	-0.2167	-0.7280*
青苗期 Green seedling stage	Tave	0.0170	0.3405	0.1865	-0.1667	-0.0667	0.2845
	Tmax	-0.2979	-0.0085	-0.3064	0.4017	-0.2092	-0.1681
	Tmin	0.4238	0.3405	0.6950*	-0.6333	0.1167	0.8285**
	Diurnal temperature range	-0.3560	-0.0766	-0.1865	0.4167	-0.3500	-0.0921
	Accumulated temperature	-0.2034	0.1107	-0.1187	0.0667	-0.1000	-0.0335
抽薹期 Bolting stage	Tave	-0.2543	-0.1362	0.0339	0.2500	-0.2500	0.3180
	Tmax	-0.5703	-0.3419	-0.3915	0.7197*	-0.6109	-0.2185
	Tmin	0.4916	0.5278	0.6950*	-0.5333	0.2000	0.9205**
	Diurnal temperature range	-0.6272	-0.4086	-0.3729	0.7333*	-0.6667	-0.2427
	Accumulated temperature	-0.2543	-0.1362	0.0339	0.2500	-0.2500	0.3180
	Precipitation	0.2034	0.2979	0.1017	0.1333	-0.1000	0.2594
开花期 Anthesis	Tave	0.0170	-0.1192	-0.0509	-0.1333	0.1500	-0.3766
	Tmax	-0.2204	-0.3660	0.4068	0.0167	-0.4667	0.3682
	Tmin	-0.0848	-0.3320	-0.4746	0.1667	0.1500	-0.6109
	Diurnal temperature range	-0.3390	-0.2894	0.2882	0.1833	-0.6000	0.2427
	Accumulated temperature	-0.1356	-0.2469	-0.1187	-0.0333	-0.0833	-0.4017
	Precipitation	0.4068	0.5022	-0.0170	-0.3333	0.2500	0.1757
全生育期 Whole reproductive period	Tave	-0.3221	-0.0170	-0.3899	0.1833	-0.1167	-0.4100
	Tmax	-0.5425	-0.5363	0.2204	0.3500	-0.7000*	0.1088
	Tmin	0.1865	0.1532	-0.1526	-0.2000	0.1333	-0.3849
	Diurnal temperature range	-0.5085	-0.1958	-0.1526	0.4333	-0.7000*	-0.0753
	Accumulated temperature	-0.4577	-0.3660	-0.2034	0.2333	-0.2333	-0.6444

注:*表示通过0.05置信度显著性检验,**表示通过0.01置信度显著性检验。

Note: * indicated passing significance test of 0.05 reliability; ** indicated passing significance test of 0.01 reliability.

2.3 环境温度变化对黄花菜生长的影响分析

利用Matlab软件和斯皮尔曼相关系数工具对气象因子与黄花菜品质的相关性数据分析,结果显示,黄花菜生长的环境温度变化对黄花菜生长和花期有着显著影响。一是对黄花菜生长速度的影响。在适宜温度范围内,黄花菜的生长速度较快。但当环境温度低于 15°C 时,黄花菜的生长速度就会减缓;当环境温度高于 30°C 时,黄花菜的生长速度也会减缓。二是对营养物质吸收的影响。当环境温度适宜时,黄花菜的根系能正常吸收水和营养物质,但当温度过高或过低时,黄花菜的吸收能力就

会减弱。例如,从对磷、钾等肥料的吸收效果来看,当环境温度低于 5°C 时,100丛黄花菜的1516个分蘖中,有1198个分蘖外侧叶片下部密布红紫色小斑点,表现出缺磷症状,株丛外侧分蘖缺磷症状比株丛中心缺磷症状严重;1516个分蘖中有479个分蘖叶尖枯死,表现出缺钾症状。当最高气温达到 15°C 时,100丛黄花菜的1516个分蘖中有191个分蘖表现出缺磷症状,缺磷症状明显轻于 5°C 时;缺钾分蘖数新增27个,达到506个。当最高气温达到 25°C 时,100丛黄花菜的1516个分蘖中有33个分蘖表现出缺磷症状,缺磷症状显著低于 5°C 时;缺

钾分蘖数新增 9 个,达到 515 个。当最高气温持续高于 30 ℃,且持续 3 d 时,植株缺磷、缺钾数量再未增加。三是对黄花菜花期的影响。在适宜温度下,黄花菜的花期一般在 6—8 月,但当温度过高或过低时,会导致黄花菜的花期提前或推迟。四是对黄花菜花朵品质的影响。适当的温度能提高黄花菜花朵品质,花色更加鲜艳且持续时间更长,但当环境温度过高或过低时,花朵品质就会降低。因此,在黄花菜种植中,要更加关注和控制环境温度,确保黄花菜的正常生长和良好品质^[19]。

2.4 黄花菜品质与关键气象因子的模型构建

本研究采用非线性回归模型的构建方法。在构建模型时,首先确定一些温度、湿度等关键气象因子,并收集相关气象数据和黄花菜品质数据作为样本数据。然后使用回归分析方法,来建立一个数学模型,将气象因子等影响因素作为自变量,将黄花菜品质数据(适宜度)作为因变量。通过对样本数据的分析,确定气象因子对黄花菜品质的影响程度,以及它们之间的关系。在模型构建之后,利用该模型来预测黄花菜的生长情况。通过输入未来的气象数据,能够得到相应的预测结果,从而了解到哪些气象因子对黄花菜品质有着重要影响。以下是 4 个重要的模型构建步骤。

2.4.1 模型构建准备 为标定黄花菜的优质程度,试验采用了适宜度等级的方式进行量化。适宜度等级共分为 4 个层级:0.4、0.6、0.8、1.0,分别对应不太适宜、一般适宜、较好适宜和非常适宜^[21]。通过量化的适宜度层级标定,能够分析各因素对黄花菜生长的影响程度,挖掘黄花菜在特定条件下的生长发育、代谢活动等方面的表现状态(适宜度)。结果显示,不同因素对于黄花菜生长的影响程度是不同的,有些因素对黄花菜生长影响较小,有些因素对黄花菜生长有着显著的促进或抑制作用。

2.4.2 拟合方式选择 在收集相关因素和黄花菜品质数据之后,利用已知的自变量和因变量数据,拟合出一个回归模型,以确定哪些因素对黄花菜品质影响最大,以及它们之间的关系是线性还是非线性的。本研究选择非线性回归来更准确地建模黄花菜适宜度与各因素之间的关系。选择非线性回归意味着需要找出适宜度与各因素之间合适的非线性关系函数。为此,通过采取曲线估计的方法,依次模拟每种类型因素与适宜度之间的非线性关系,逐步调整曲线的形状和参数,成功建立了适宜

度与各因素之间的非线性回归模型。

首先,对黄花菜在土壤钾和磷含量分别为 110、14 mg/kg 的条件下,环境温度变化与黄花菜适宜度进行曲线估计(图 2),并依据相关的数据参数导出相应的评估结果(表 2)。

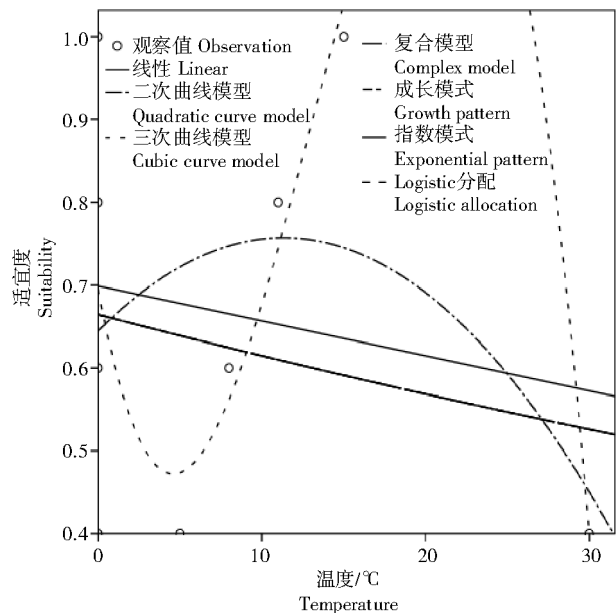


图 2 钾 (110 mg/kg)、磷 (14 mg/kg) 条件下温度的变化与适宜度关系的曲线估计
Fig.2 Curve estimation of the relationship between temperature change and suitability under potassium (110 mg/kg), phosphorus (14 mg/kg) conditions

钾是黄花菜生长和发育过程中必需的营养元素,它参与调节黄花菜的水分平衡、光合作用和产生养分的过程。磷是黄花菜的主要能量来源,在 DNA(脱氧核糖核酸)、RNA(核糖核酸)和蛋白质的合成中具有重要作用^[22]。因此,土壤中钾和磷的含量及温度变化对于黄花菜生长和发育至关重要。图 2 和表 2 估计结果显示,在众多非线性模式中,环境温度变化与黄花菜适宜度之间存在着一种最佳的非线性函数关系——即 3 次曲线模型关系,该模型揭示了温度变化对黄花菜生长状态(适宜度)的影响规律。由图 2、表 2 可知,3 次曲线模型与环境温度变化的趋势高度吻合。这意味着在土壤钾和磷含量为 110、14 mg/kg 的条件下,环境温度变化对黄花菜生长状态有着较大影响。黄花菜适宜度在环境温度较低或较高的情况下都会下降,在某一温度范围内适宜度达到最高点。因此,合理控制土壤中的钾和磷含量,并在适宜的环境温度范围内种植黄花菜,对于提高黄花菜产量和品质具有重要作用。

表2 钾(110 mg/kg)、磷(14 mg/kg)条件下温度变化指标的模型总计及参数评估表
 Tab.2 Total model and parameter evaluation of temperature change index under potassium (110 mg/kg) and phosphorus (14 mg/kg) conditions

方程式 Equation	模型摘要 Model summary					参数评估 Parameter evaluation			
	R平方 R square	F	df1	df2	显著性 Significance	常数 Constant	b1	b2	b3
线性 Linear	0.030	0.216	1	7	0.657	0.699	-0.004		
对数 a Logarithm a									
倒数模式 b Reciprocal mode b									
二次曲线模型 Quadratic curve model	0.152	0.538	2	6	0.610	0.644	0.020	-0.001	
三次曲线模型 Cubic curve model	0.559	2.117	3	5	0.217	0.695	-0.105	0.014	0.000
复合模型 Complex model	0.042	0.307	1	7	0.597	0.664	0.992		
次方 a Powe a									
Sb									
成长模式 Growth pattern	0.042	0.307	1	7	0.597	-0.409	-0.008		
指数模式 Exponential pattern	0.042	0.307	1	7	0.597	0.664	-0.008		
Logistic 分配 Logistic allocation	0.042	0.307	1	7	0.597	1.505	1.008		

注:因变量为适宜度;自变量为温度。

Note: The dependent variable of the model was fitness, and the independent variable was temperature.

其次,对黄花菜关键生育阶段气象因素与适宜度进行曲线估计^[21]。本研究以黄花菜收获期日较差为例,进行黄花菜适宜度的曲线估计(图3),并结合已试验出的数据参数导出相应的评估结果(表3)。结合黄花菜关键生育阶段的气象因素,以收获期日较差为例,进行曲线估计。收获期日较差是黄花菜在收获时期的气象要素(气温、气压、湿度、光照、风速等)在一昼夜间最高值与最低值之差,该指标能够反映气象因素对黄花菜生长和发育的影响程度。图3与表3评估结果显示,对于黄花菜收获期日较差这一关键气象因素,在众多非线性函数关系中,三次曲线函数是最为贴合的,即通过三次曲线函数能够较好地描述收获期日较差的变化趋势。通过黄花菜收获期日较差进行曲线函数的参数评估分析,能够直观地分析气象因素对黄花菜生长和发育的影响机制,更好地评估黄花菜关键生育阶段的气象因素与适宜度的关系。

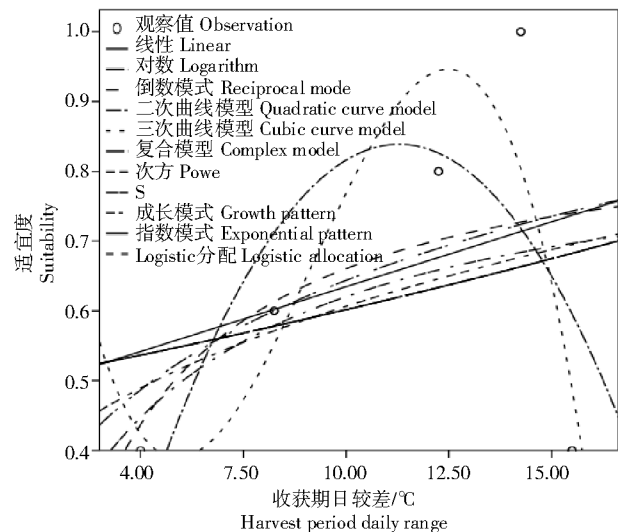


图3 以收获期日较差为例的关键生育阶段的气象因素与适宜度关系的曲线估计
 Fig.3 Curve estimation of the relationship between meteorological factors and suitability at key growth stages, taking the daily range at harvest time as an example

表3 以收获期日较差为例的关键生育阶段指标的模型总计及参数评估
 Tab.3 Total model and parameter evaluation based on daily range at harvest stage as an indicator

方程式 Equation	模型摘要 Model summary					参数评估 Parameter evaluation			
	R平方 R square	F	df1	df2	显著性 Significance	常数 Constant	b1	b2	b3
线性 Linear	0.080	0.609	1	7	0.461	0.449	0.019		
对数 a Logarithm a	0.126	1.008	1	7	0.349	0.122	0.226		
倒数模式 b Reciprocal mode b	0.165	1.381	1	7	0.278	0.884	-2.237		
二次曲线模型 Quadratic curve model	0.433	2.290	2	6	0.182	-0.910	0.310	-0.014	
三次曲线模型 Cubic curve model	0.711	4.092	3	5	0.082	2.532	-0.862	0.108	-0.004
复合模型 Complex model	0.050	0.370	1	7	0.562	0.478	1.023		

续表 3 以收获期日较差为例的关键生育阶段指标的模型总计及参数评估
Tab.3(Continued) Total model and parameter evaluation based on daily range at harvest stage as an indicator

方程式 Equation	模型摘要 Model summary					参数评估 Parameter evaluation			
	R 平方 R square	F	df1	df2	显著性 Significance	常数 Constant	b1	b2	b3
次方 a Powe a	0.097	0.755	1	7	0.414	0.297	0.310		
Sb	0.146	1.192	1	7	0.311	-0.150	-3.275		
成长模式 Growth pattern	0.050	0.370	1	7	0.562	-0.737	0.023		
指数模式 Exponential pattern	0.050	0.370	1	7	0.562	0.478	0.023		
Logistic 分配 Logistic allocation	0.050	0.370	1	7	0.562	2.090	0.977		

注:模型的因变量为适宜度,自变数为收获期日较差。

Note: The dependent variable of the model was suitability, and the independent variable was daily range at the harvest stage.

最后,对生化因素与黄花菜适宜度进行曲线估计。本研究以黄花菜生化因素中的蛋白质为例,进行黄花菜适宜度的曲线估计(图4),并结合已知的数据参数导出相应的评估结果(表4)。

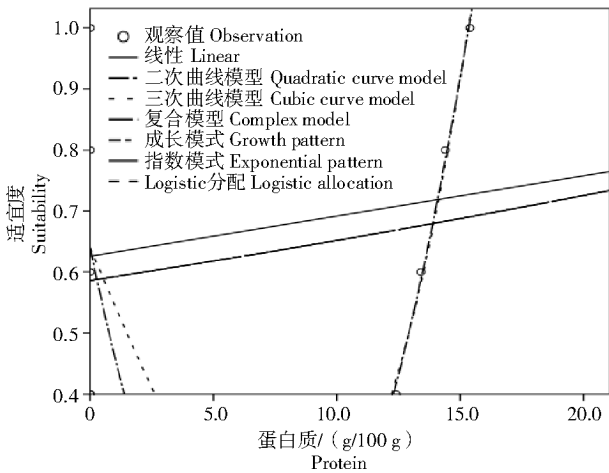


图4 以蛋白质为例的生化因素与适宜度关系的曲线估计
Fig.4 Curve estimation of the relationship between biochemical factors and suitability in the case of protein

生化因素是影响黄花菜生长和发育的生物化学因素,它既包括黄花菜体内的化学物质、生理过

程和化学反应,也包括与外部环境因素之间的相互作用。例如,光合作用、营养元素(蛋白质、核酸、脂肪、氮、磷、钾、镁、铁等)、土壤pH值、有机质含量、水分含量等,其中蛋白质是构成黄花菜的重要组成部分,它参与黄花菜细胞结构的建立和维护,也是生物化学反应的催化剂。这些生化因素相互作用共同调节黄花菜的生长和发育过程。从图4和表4的评估结果可以看出,在以蛋白质为例的生化因素与适宜度的关系评估中,生化因素与黄花菜适宜度之间的关系与二次曲线和三次曲线非常相似,而且相比其他几种回归曲线,与二次曲线和三次曲线的贴合度最好。为了确定在二次曲线和三次曲线中选择哪个模型来描述生化因素与黄花菜适宜度的相关关系,本研究进行了曲线估计分析。结果表明,在生化因素中除了蛋白质之外,其他所有类型的生化因素与适宜度之间的关系更加贴近三次曲线。因此,最终选择了三次曲线模型来描述生化因素与黄花菜适宜度的相关关系。通过采用三次曲线模型,能够更准确地预测黄花菜的适宜度,更好地评估生化因素对黄花菜适宜度的影响。

表4 以蛋白质为例的生化因素指标的模型总计及参数评估
Tab.4 Total model and parameter evaluation of biochemical factor index in the case of protein

方程式 Equation	模型摘要 Model summary					参数评估 Parameter evaluation			
	R 平方 R square	F	df1	df2	显著性 Significance	常数 Constant	b1	b2	b3
线性 Linear	0.039	0.284	1	7	0.610	0.626	0.007		
对数 a Logarithm a									
倒数模式 b Reciprocal mode b									
二次曲线模型 Quadratic curve model	0.432	2.279	2	6	0.184	0.640	-0.193	0.014	
三次曲线模型 Cubic curve model	0.430	2.260	2	6	0.186	0.640	-0.095	0.000	0.001
复合模型 Complex model	0.042	0.310	1	7	0.595	0.586	1.011		
次方 a Powe a									
Sb									
成长模式 Growth pattern	0.042	0.310	1	7	0.595	-0.534	0.011		

续表4 以蛋白质为例的生化因素指标的模型总计及参数评估
Tab.4(Continued) Total model and parameter evaluation of biochemical factor index in the case of protein

方程式 Equation	模型摘要 Model summary				参数评估 Parameter evaluation				
	R平方 R square	F	df1	df2	显著性 Significance	常数 Constant	b1	b2	b3
指数模式 Exponential pattern	0.042	0.310	1	7	0.595	0.586	0.011		
Logistic 分配 Logistic allocation	0.042	0.310	1	7	0.595	1.706	0.989		

注:模型中的因变量为适宜度,自变量为蛋白质。
Note: The dependent variable of the model was suitability, and the independent variable was protein.

2.4.3 非线性回归模型的构建 在进行数据分析和回归模型建立时,选择黄花菜适宜度作为因变量,将气象因子(温度、收获期日较差、大于5℃有效积温等)各影响因素作为自变量,以探究它们之间的关系。在此基础上,选择试验结果中各因素与自变量间的非线性函数关系,并将其列出为模型表达式,通过非线性回归拟合进行求解。为了衡量拟合效果,本研究选择了残差平方和作为损失函数,通过22次迭代得到了拟合函数中各因素的系数,从而得到了完整的回归模型。

$$I_{CQ} = \sum_{i=1}^n a_i \times L_i^3 + b_i \times M_i^3 + C_i \times N_i^3 \quad (1)$$

式中, I_{CQ} 为品质指数; n 为适宜度评估指标的数量; a_i 为钾(110 mg/kg)、磷(14 mg/kg)条件下温度评估指标的权重; b_i 为气象评估指标的权重; C_i 为生化评估指标权重; L_i 为钾(110 mg/kg)、磷(14 mg/kg)条件下温度指标的适宜度; M_i 为气象评估指标的适宜度; N_i 为生化评估指标的适宜度。

2.4.4 回归模型结果分析 回归模型拟合后,得到参数估计值如下(表5)。

表5 回归模型参数估计值
Tab.5 Parameter estimates of the regression model

参数 Parameter	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
估计 Estimate	-0.492	0.806	-1.17E-05	0.373	1.015	7.88E-05	0.473	0.881	1	1	1	0.996

注:a.温度;b.收获期日较差;c.抽薹收获期大于5℃有效积温;d.收获期平均最高气温;e.苗期平均最低气温;f.全生育期总降水量;g.蛋白质;h.氨基酸;i.粗纤维;j.可溶性总糖;k.维生素B₂;l.脂肪。

Note: a. Temperature; b. Diurnal temperature range; c. Accumulated temperature; d. Tmax; e. Tmin; f. Precipitation; g. Protein; h. Amino acids; i. Crude fibre; j. Soluble sugar; k. Vitamin B₂; l. Fat.

根据回归模型的最终参数估计结果显示,在温度变化、生化因素和气象因素三大类影响因素中,生化因素与黄花菜生长适宜度之间存在着最高的相关性。这一结果表明,黄花菜生长受到生化因素的重要影响,并且所有生化因素与黄花菜生长适宜度之间都呈现出正相关的关系,说明这些生化因素的含量越高对黄花菜的生长越有利。在所有生化因素中,粗纤维、可溶性总糖和维生素含量对最终黄花菜生长的影响效果最为显著。粗纤维是黄花菜生长所必需的重要一项营养物质,它提供了丰富的纤维素,有助于促进植物细胞的壁强度和结构稳定性。在培育黄花菜过程中,要创造出适宜提高黄花菜粗纤维含量的生长环境。例如,通过调整土壤中的有机质含量、采用适当的施肥措施等方式,提高土壤中的粗纤维含量,促进黄花菜的生长和发育。可溶性总糖是黄花菜生长所需的重要能量来源,为黄花菜提供必要的碳水化合物,提高黄花菜的生长速度和质量。在培育黄花菜时,要提高可溶性总糖含量,适当增加土壤中的有机质含量、合理

施肥和控制土壤水分,创造适宜的生长环境,促进黄花菜生长和发育。维生素是黄花菜生长所必需的微量元素和营养物质,能够调节黄花菜的新陈代谢,增强其抗病能力。在黄花菜培育过程中,通过施肥、调节土壤pH值、控制光照等方式,提高黄花菜体内维生素含量,为黄花菜生长创造适宜的环境,从而促进黄花菜生长和发育。此外,氨基酸是黄花菜生长的重要组成部分,能够参与黄花菜的光合作用和氮代谢,对黄花菜生长具有促进作用。脂肪在黄花菜生长中起到了能量储存和保护细胞的作用,对黄花菜生长质量也具有一定的影响。

在三大影响因素中,气象因素对黄花菜最终生长性状的影响程度居于第2位,但气象因素相关性中既有正相关也有负相关,除抽薹收获期大于5℃有效积温外,其余气象因素与适宜度的关系均为正相关。在所有正相关关系中,苗期平均最低气温的相关性最强,收获期日较差次之,收获期平均最高气温相比较弱,全生育期总降水量最弱且全生育期总降水量在气象因素的正相关因素中,与其他因素

相比,对黄花菜生长性状的影响几乎可以忽略不计。对于气象因素中唯一起负向影响效果的抽薹收获期大于 5°C 有效积温这一指标而言,由于负向效果非常微弱,其变化对黄花菜生长性状几乎没有影响。因此,在黄花菜培育过程中,要重点关注苗期平均最低气温。3月中下旬黄花菜即将进入苗期,要滴灌2次,用水 $35\text{ m}^3/\text{hm}^2$,或大水漫灌1次,用水 $60\text{ m}^3/\text{hm}^2$,以提高地温,促进苗齐、苗壮,施腐熟的农家肥 $1\ 500\text{ kg}/\text{hm}^2$ 、氮肥 $5\text{ kg}/\text{hm}^2$ 、 P_2O_5 $3\text{ kg}/\text{hm}^2$ 、 K_2O $5\text{ kg}/\text{hm}^2$ ^[23];对于全生育期总降水量及抽薹收获期大于 5°C 有效积温这2个影响因素,结合回归模型得出的结果,虽然其影响效果较低,但为了使其长势更好,4月上旬黄花菜即将进入抽薹期,滴灌1次,用水 $25\text{ m}^3/\text{hm}^2$;或于4月上旬大水漫灌1次,用水 $50\text{ m}^3/\text{hm}^2$,施腐熟的农家肥 $1\ 000\text{ kg}/\text{hm}^2$ 、氮肥 $5\text{ kg}/\text{hm}^2$ 、 P_2O_5 $2\text{ kg}/\text{hm}^2$ 、 K_2O $4\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

在三大类因素中,土壤中钾和磷的含量及土壤环境温度的变化对黄花菜的生长性状具有一定影响。与生化因素和气象因素相比,含有钾和磷的土壤环境温度变化对黄花菜的生长性状的相关性相对较弱。然而,在所有呈负相关的影响因素中,环境温度变化呈现出最强的负相关性。这意味着在钾($110\text{ mg}/\text{kg}$)和磷($14\text{ mg}/\text{kg}$)的条件下,当温度在 $4\sim 34^{\circ}\text{C}$ 的范围内时,环境温度越低,黄花菜对钾元素和磷元素的吸收速度越慢,对黄花菜的生长性状越不利。因此,在3月中下旬施肥时,应该增施有机肥来提供额外的营养供给。每公顷增施 750 kg 有机肥,能够促进黄花菜更好地吸收钾和磷元素,促进其生长和发育。

3 结论与讨论

在本研究中,讨论了山西省大同市黄花菜品质的影响因素,并特别关注了气象因子对黄花菜品质的影响。同时构建了一个非线性回归模型,以了解气象因子等因素如何影响黄花菜品质。一方面,利用Matlab软件和斯皮尔曼相关系数工具,收集了山西省大同市黄花菜样本,并对样本进行外观、味道、口感等品质检测分析,结果发现,黄花菜的品质受多个因素影响,其中气象因子是影响黄花菜品质的一项重要因素。另一方面,为进一步研究气象因子等因素对黄花菜品质的影响,本研究使用非线性回归模型的统计方法,建立了各影响因素与黄花菜适宜度的关系模型。将黄花菜适宜度作为因变量,将

气象因子等各影响因素作为自变量,通过回归分析得到了相关的回归方程,通过模型拟合和显著性检验,验证了土壤环境温度变化、气象因素和生化因素是影响黄花菜生长品质的三大关键因素。

通过对山西省大同市云州区不同黄花菜产区2019—2021年品质特征、气象数据进行相关性分析,得到如下结论:(1)不同产区的黄花菜品质是有差异的。以云州区3个乡镇为例,西坪镇的黄花菜品质最好,吉家庄乡的又好于周土庄镇的。其中西坪镇产区的黄花菜中蛋白质、脂肪、粗纤维、维生素 B_2 、总氨基酸含量均高于其他2个产区,其维生素 B_2 含量是周土庄镇的4.7倍,是吉家庄乡的2.3倍。(2)气象因子对黄花菜品质具有显著影响。温度、湿度和光照等气象因子与黄花菜品质之间存在明显的相关性。温度对黄花菜的生长速度和营养成分有着直接影响,过高或过低的温度都会对黄花菜的生长和品质产生不利影响。比如,干黄花菜粗纤维含量与青苗期和抽薹期的平均最低气温呈显著正相关,可溶性总糖含量与抽薹期的平均最高气温和气温日较差呈显著正相关,维生素 B_2 与全生育期内平均最高气温和气温日较差呈显著负相关关系,总氨基酸与出苗期 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温呈显著负相关关系、与青苗期和抽薹期平均最低气温呈极显著正相关关系。(3)构建了各影响因素与黄花菜适宜度的非线性回归模型。将气象因子等各影响因素作为自变量,将黄花菜适宜度作为因变量,经过对相关数据的拟合过程,构建了一个非线性回归模型。通过对回归模型与相关性结果分析,结果表明,土壤环境温度变化、气象因素和生化因素是影响黄花菜适宜度的三大关键因素。因此,在种植黄花菜时,需要综合考虑这些影响因素,采取相应的措施进行调控,以提供适宜的生长环境,促进黄花菜的健康生长,提高黄花菜的品质。

综上所述,该研究结果揭示了山西省大同市黄花菜品质与气象因子等各影响因素之间的关系,并为黄花菜的种植和生产提供了一定的指导意义。然而,本研究还存在一定的局限性,例如,影响因素只关注温度变化、生化因素和气象因素等,对于光照、降雨量、病虫害、采摘管理等影响因素关注度不够;研究数据仅限于山西省大同市,对其他地区的适用性有一定限制。因此,要探索其他影响黄花菜品质的因素,并扩大研究范围,以全面了解黄花菜品质的形成机制,验证模型的准确性和稳定性。

参考文献:

- [1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志-第十四卷[M]. 北京:科学出版社,1980.
Compilation Committee of Flora, Chinese academy of sciences. flora of China (Vol.14)[M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [2] 黎海利,董丽. 萱草种质资源研究概况[J]. 北方园艺,2007(8):58-60.
LI H L, DONG L. General situation of research on *Hemerocallis fulva* germplasm resources[J]. Northern Horticulture, 2007(8):58-60.
- [3] 张世杰,张志国. 萱草属植物的起源、分布、分类及应用[J]. 园林,2018(5):5-9.
ZHANG S J, ZHANG Z G. Origin, distribution, classification and application of *Hemerocallis* [J]. Garden Science, 2018(5):5-9.
- [4] 陈丽飞,董然. 萱草属植物研究进展[J]. 北方园艺,2007(6):66-69.
CHEN L F, DONG R. Research progress of *Hemerocallis*[J]. Northern Horticulture, 2007(6):66-69.
- [5] TI Y R, ZHANG Y L, BAN Y, et al. Polysaccharide from *Hemerocallis citrina* Borani by subcritical water with different temperatures and investigation of its physicochemical properties and antioxidant activity[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9:982695.
- [6] 黎海利,董丽. 萱草部分野生种和栽培品种亲缘关系的 AFLP 分析[J]. 园艺学报,2009,36(8):1203-1208.
LI H L, DONG L. Relationship of *Hemerocallis* spp. wild species and cultivars by AFLP marker[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(8):1203-1208.
- [7] 段久菊,宋卓琴,贾民隆,等. 大同市黄花菜产业发展历程、现状及对策[J]. 中国种业,2021(1):17-19.
DUAN J J, SONG Z Q, JIA M L, et al. Development history, current situation and countermeasures of daylily industry in Datong City[J]. China Seed Industry, 2021(1):17-19.
- [8] 李效珍,秦雅娟,李小强,等. 晋北黄花菜主产区气候变化特征及其对黄花菜生产的影响[J]. 农村经济与科技,2020,31(2):12-13.
LI X Z, QIN Y J, LI X Q, et al. Characteristics of climate change in main daylily producing areas in northern Shanxi and its influence on daylily production[J]. Rural Economy and Science-Technology, 2020, 31(2):12-13.
- [9] 陈臻皓,钟卓璇,康琳莞尔. 德化黄花菜种植气候条件分析[J]. 农村实用技术,2019(10):29.
CHEN Z H, ZHONG Z X, KANGLIN W E. Analysis of climatic conditions for planting Dehua daylily[J]. Practical Techniques in Rural Areas, 2019(10):29.
- [10] 高志慧. 不同产地黄花菜营养价值的比较[J]. 黑龙江农业科学,2019(12):82-84.
GAO Z H. Comparison on nutritional value of *Hemerocallis citrina* from different producing areas[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2019(12):82-84.
- [11] 周玲玲,张黎杰,余翔,等. 苏北地区黄花菜生态适应性及营养品质比较[J]. 北方农业学报,2020,48(5):109-114.
ZHOU L L, ZHANG L J, YU X, et al. Comparison of ecological adaptability and nutritional quality of daylily in Northern Jiangsu Province[J]. Journal of Northern Agriculture, 2020, 48(5):109-114.
- [12] 李冬梅. 露地黄花菜有机栽培技术[J]. 农村科技,2020(5):54-56.
LI D M. Organic cultivation techniques of day lily in open field [J]. Rural Science & Technology, 2020(5):54-56.
- [13] YANG Y, QIN N N, HUANG J L, et al. Dynamic changes of pectin epitopes and daylily tepals during flower opening and senescence of *Hemerocallis citrina*[J]. Scientia Horticulturae, 2021, 288:110367.
- [14] CUI Y X, GAO Y K, YUAN L, et al. Phenotypic variations and heritability of reblooming daylily (*Hemerocallis* spp.) [J]. Scientia Horticulturae, 2020, 272:109521.
- [15] 彭美蓉. 祁东当前黄花菜病虫害发生特点与无公害绿色防控对策[J]. 农业与技术,2019,39(17):117-118.
PENG M R. Occurrence characteristics of diseases and insect pests of daylily in Qidong and pollution-free green prevention and control countermeasures[J]. Agriculture and Technology, 2019, 39(17):117-118.
- [16] 霍宇恒. 大同黄花菜病虫害监测及绿色防控技术[J]. 农业技术与装备,2020(2):46-47.
HUO Y H. Monitoring and green control technology of daylilies[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2020(2):46-47.
- [17] 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.
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.
- [18] 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[J]. 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 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2):740-745.
- [19] 张晓煜,刘玉兰,张磊,等. 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,2007,28(3):326-330.
ZHANG X Y, LIU Y L, ZHANG L, et al. Influence of meteorological conditions on some quality factors of wine grape[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2007, 28(3):326-330.
- [20] 刘玉兰. 酿酒葡萄的品质指标分析及其与气象条件关系的试验研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2006.
LIU Y L. Analysis of quality indexes of wine grapes and experimental study on its relationship with meteorological conditions[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2006.
- [21] 赵丽平,裴克莉,宫燕,等. 黄花与气象——大同服务实践[M]. 北京:气象出版社,2023.
ZHAO L P, PEI K L, GONG Y, et al. Daylily and meteorology-Datong service practice[M]. Beijing: Meteorology Publishing House, 2023.
- [22] 毕银丽,孙江涛,王建文,等. AM真菌对采煤沉陷区黄花菜生长及根际土壤养分的影响[J]. 生态学报,2018,38(15):5315-5321.
BI Y L, SUN J T, WANG J W, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on daylily growth and soil fertility in a coal mining subsidence area of northern Shanxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(15):5315-5321.