

## 树莓不同品种在山西的引种适应性及果实品质研究<sup>1</sup>

李俞昕<sup>1</sup>, 曹贵寿<sup>1</sup>, 黄军保<sup>1</sup>, 张拥兵<sup>1</sup>, 李卓<sup>1</sup>, 王林<sup>2</sup>, 吕英忠<sup>1\*</sup>, 曹希娟<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>山西农业大学果树研究所, 山西太谷 030815; <sup>2</sup>山西农业大学林学院, 山西太谷 030801)

**摘要:**【目的】为丰富山西省果树结构和树莓品种, 筛选适宜本地区种植的优异树莓品种。【方法】本研究以从沈阳农业大学引种的 16 个树莓品种为试验材料, 在山西农业大学果树研究所树莓资源圃开展引种栽培试验, 调查其物候期、生物学性状和果实品质并进行相关性分析和主成分分析。【结果】16 个品种树莓在山西省均可正常生长、发芽、开花及结果, 不同品种的树莓物候期稍有不同。夏果型树莓的形态生长较强, 单果质量普遍高于秋果型树莓。在树莓果实品质方面, 费尔杜德的可溶性糖和可溶性固形物含量最高, 拖拉米的可滴定酸含量最高, 米克的固酸比和可溶性蛋白含量最高, 新星的维生素 C 含量最高。相关性分析结果表明, 树莓果实品质与枝条、叶片特性及光合作用特性呈显著相关关系, 可通过树莓枝条特性(如基径)、叶片特性(如叶片长度、叶片宽度)及光合作用特性(如气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度)等指标在一定程度上反应树莓果实品质。【结论】夏果型树莓费尔杜德、美国 22 号和米克, 及秋果型树莓丰满红、秋福和秋英等几个品种表现最佳, 可作为优异树莓品种资源在山西省推广种植。

**关键词:** 树莓; 山西; 生长特性; 果实品质; 综合评价

中图分类号: S663.2 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2024)12-0001-08

## Study on the introduction and growth adaptability and fruit quality of different varieties of raspberry in Shanxi

LI Yuxin<sup>1</sup>, CAO Guishou<sup>1</sup>, HUANG Junbao<sup>1</sup>, ZHANG Yongbing<sup>1</sup>, LI Zhuo<sup>1</sup>, WANG Lin<sup>2</sup>, LV Yingzhong<sup>1</sup>, CAO Xijuan<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Pomology Institute, Shanxi Agricultural University, Taigu 030815, Shanxi, China; <sup>2</sup>College of Forestry Science, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China)

**Abstract:** 【Objective】Raspberries, known for their rich nutrient content, are recognized as representatives of the "world's third-generation fruits." To diversify raspberry varieties in Shanxi Province, this study conducted a comprehensive analysis of the growth conditions and fruit quality of introduced raspberry varieties. The goal was to identify superior varieties suitable for local cultivation and provide a foundation for the evaluation and selection of raspberry varieties in Shanxi Province. 【Methods】16 raspberry varieties from Shenyang Agricultural University were used as experimental materials, including Red Autumn, Royalty, Meeker, Fertodi, Tulameen, Autumn Britten, Autumn Bliss, Caroline, Heritage, Fall Gold, Polana, Nova, Polka, Fengmanhong,

收稿日期: 2024-07-16 接受日期: 2024-09-10

基金项目: 山西农业大学科技创新提升工程 (CXGC2023087); 山西省基础研究计划自由探索类 (202303021212103); 山西省博士毕业生、博士后研究人员来晋工作奖励经费科研项目 (SXBYKY2023019); 山西农业大学“引进人才科研启动工程”项目 (2023BQ14)

作者简介: 李俞昕, 女, 助理研究员, 博士, 研究方向为土壤营养与果树栽培。E-mail: liyuxin@sxau.edu.cn  
\*通信作者 Author for correspondence. E-mail: 13934410761@163.com

Qiuping, and Dinkun. The introduction and cultivation experiments were conducted at the Raspberry Resource Nursery of the Pomology Institute at Shanxi Agricultural University. Observations were made on the phenological period of the raspberries, and 23 indicators of biological traits and fruit qualities were measured. Biological trait indicators included plant height, caudex, number of root tiller seedling, leaf length, leaf width, leaf area, specific leaf weight, chlorophyll content, net photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular CO<sub>2</sub> concentration, and transpiration rate. Fruit quality indicators included single fruit mass, fruit stalk length, fruit longitudinal diameter, fruit equatorial diameter, fruit shape index, soluble sugar content, soluble solids content, titratable acid content, sugar-acid ratio, soluble protein content, and vitamin C content. Correlation and principal component analyses were conducted to comprehensively evaluate and rank the 16 raspberry varieties. **【Results】**All 16 raspberry varieties exhibited normal growth, budding, blooming, and fruit-bearing in Shanxi Province. The dates of sprouting, mulch removing, leaf-expansion, early blooming, and defoliation of raspberry were concentrated in late March, late March to early April, early April, mid-May, and late October, respectively. The date of maturity and date of final harvest for floricane-fruited raspberries were concentrated in June and late July, respectively. For promicane-fruited raspberries, the date of maturity was concentrated in June and August, with date of final harvest in July and September. Among branch traits of raspberries, plant height ranged from 114.5 to 346.0 cm, with Meeker being the tallest and Polana being the shortest. Caudex of raspberries ranged from 10.49 to 13.56 mm, with Red Autumn being the thickest and Fengmanhong being the thinnest. The number of root tiller seedlings of raspberries ranged from 4.7 to 18.7, with Dinkun producing the most and Fengmanhong producing the fewest. Promicane-fruited raspberries generally exhibited larger leaves compared to floricane-fruited varieties, with Polka having the largest leaves and Red Autumn, Royalty, and Fertodi having the smallest leaf. In terms of photosynthetic traits of raspberries, Meeker had the highest chlorophyll content (3.41 mg·g<sup>-1</sup>), Royalty had the highest net photosynthetic rate (13.56 μmol CO<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) and transpiration rate (7.04 mmol H<sub>2</sub>O·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>). Autumn Britten exhibited the highest stomatal conductance (0.353 mol H<sub>2</sub>O·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>), and Autumn Bliss had the highest intercellular CO<sub>2</sub> concentration (385 μmol·mol<sup>-1</sup>). Regarding fruit appearance, floricane-fruited raspberries generally had a higher single fruit mass than promicane-fruited varieties, with Royalty having the heaviest mass (7.01 g). Polana had the longest fruit stalk length (3.34 cm), while Royalty had the largest fruit dimensions, with a longitudinal diameter of 2.74 cm and equatorial diameter of 2.26 cm. Caroline exhibited the highest fruit shape index at 1.35. For fruit nutritional traits, Fertodi had the highest soluble sugar content (7.34%) and soluble solids content (13.59%). Tulameen had the highest titratable acidity (2.37%). Meeker exhibited the highest sugar-acid ratio (10.83) and soluble protein content (1.20 mg·g<sup>-1</sup>). And Nova had the highest vitamin C content (392.03 μg·g<sup>-1</sup>). Correlation analysis revealed various degrees of correlation among raspberry traits. For example, single fruit mass was significantly positively correlated with transpiration rate, fruit longitudinal diameter, fruit equatorial diameter, and fruit shape index. Fruit equatorial

diameter was significantly positively correlated with plant height and transpiration rate. Soluble solids were significantly negatively correlated with stomatal conductance and fruit stalk length. Soluble protein was significantly positively correlated with leaf length, leaf width, and fruit shape index, and negatively correlated with intercellular CO<sub>2</sub> concentration. The sugar-acid ratio was significantly positively correlated with caudex thickness and soluble solids content, and negatively correlated with fruit shape index and titratable acid content. These correlations indicated overlapping information, suggesting the need to simplify evaluation indicators. Principal component analysis extracted seven principal components with a cumulative contribution rate of 88.621%. A comprehensive evaluation model was established, and the raspberry varieties were ranked based on their comprehensive scores. **【Conclusion】** Principal component analysis results indicate that plant height and caudex can be used to evaluate growth traits; single fruit mass, longitudinal diameter, and equatorial diameter to assess fruit appearance quality; stomatal conductance and intercellular CO<sub>2</sub> concentration to evaluate leaf photosynthetic traits; vitamin C content to assess fruit antioxidant capacity; titratable acidity to evaluate sweet and sour flavor; soluble sugar content to assess fruit sweetness; and specific leaf weight to evaluate leaf traits. The comprehensive evaluation results suggest that the floricane-fruiting raspberry varieties Fertodi, Royalty, Meeker and promicane-fruiting raspberry varieties Fengmanhong, Autumn Bliss, Autumn Britten are the best-performing varieties and can be promoted as excellent raspberry resources for cultivation in Shanxi Province.

**Key words:** Raspberry; Shanxi Province; Growth trait; Fruit quality; Comprehensive evaluation

树莓 (*Rubus idaeus* L.) 是欧美最受欢迎的小浆果之一<sup>[1]</sup>, 因其富含多种氨基酸、维生素、抗氧化和抗癌物质, 被誉为“生命之果”, 是“世界第三代水果”的典型代表<sup>[2,3]</sup>。树莓耐寒耐瘠, 抗寒性强, 对土壤无特殊要求, 分蘖能力强, 是恢复荒地的优良生态经济树种, 对推动“以果治荒”和保护生态环境等具有重要意义<sup>[4]</sup>。根据树莓结果习性不同, 树莓可以分为夏果型和秋果型两种<sup>[5]</sup>。夏果型树莓枝条当年只进行营养生长, 第二年夏天开花结果, 而秋果型树莓当年生枝通常在秋末结出果实, 第二年夏天在老枝茎下部结第二次果<sup>[6]</sup>。

据《中国植物志》记载, 中国树莓资源非常丰富 (194 个种 88 个变种), 但树莓在我国的栽培历史并不长, 对树莓的生产和研究仍处于起步阶段, 目前只在种质资源调查、引种、花芽分化、果实生理特性、果实营养成分、丰产性等方面进行了初步零星研究<sup>[4]</sup>。我国树莓规模种植集中在江苏、山东、辽宁和黑龙江, 其中以辽宁发展最快<sup>[7]</sup>。树莓在我国华北和西北等地均有较好的适应性, 但其在各地的发展规模和速度, 特别是在引种方面普遍存在较大的盲目性, 如引种时缺乏引种区域试验依据, 品种混乱等问题<sup>[4]</sup>。

山西省发展树莓种植具有多方面的现实意义, 一是提高经济效益: 树莓具有较高的经济价值, 市场需求逐年增长, 通过发展树莓产业, 可以促进农村经济发展, 特别是对贫困地区的脱贫致富具有积极作用。二是优化农业结构: 山西农业以粮食作物为主, 通过种植树莓,

可以丰富农业种植结构，减少对单一作物的依赖，提高农业的抗风险能力。三是改善生态环境：种植树莓可以起到保持水土、防止水土流失的作用，对于山西这样多山的地区，发展树莓种植有助于改善生态环境，推动可持续发展。四是延伸与带动产业链：树莓不仅可以作为新鲜果品销售，还可以深加工为果汁、果酱、酒类等产品，形成一条完整的产业链，带动相关加工产业、物流产业和旅游产业的兴起，增加就业机会，推动农村产业融合发展。五是建设品牌与拓展市场：山西省可以通过发展优质树莓品种，打造地方特色农产品品牌，提升市场知名度。综上所述，山西发展树莓具有显著的经济、社会和生态效益，是农业产业升级、生态保护和乡村振兴的重要路径之一。但山西省树莓研究起步较晚，从事树莓研究的科研人员较少，相关研究仍处于树莓品种的引种和筛选的起步阶段，缺乏区域化引种试验依据，造成土地、人力和财力的极大损失。

因此，山西农业大学果树研究所建立了树莓资源圃，从沈阳农业大学引进秋果红等 24 个品种树莓，移栽生长稳定后，筛选出适宜当地种植的 16 个品种树莓进行物候期观察、生物学特性、果实品质等研究，为山西省树莓引种评价和优系筛选提供数据支撑和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以 2016 年和 2018 年分两批从沈阳农业大学引种栽培在山西农业大学果树研究所的 24 个品种树莓中初选出秋果红、美国 22 号、米克、费尔杜德、拖拉米、秋英、秋福、卡洛琳、海尔特兹、金秋、波拉纳、新星、波尔卡、丰满红、秋萍、町康 16 个品种为试验材料，试验树莓均已经过至少 1 个完整生长期，存活率基本稳定，适应性良好。基本信息见表 1。

表 1 试验树莓基本信息

Table 1 The basic information of test raspberry

品种	原产国	类型
Varieties	Origin country	Type
秋果红 Red Autumn	英国 Britain	夏果型红树莓 Floricane-fruiting red raspberry
美国 22 号 Royalty	美国 America	夏果型红树莓 Floricane-fruiting red raspberry
米克 Meeker	美国 America	夏果型红树莓 Floricane-fruiting red raspberry
费尔杜德 Fertodi	匈牙利 Hungary	夏果型红树莓 Floricane-fruiting red raspberry
拖拉米 Tulameen	加拿大 Canada	夏果型红树莓 Floricane-fruiting red raspberry
秋英 Autumn Britten	英国 Britain	秋果型红树莓 Promicane-fruiting red raspberry
秋福 Autumn Bliss	英国 Britain	秋果型红树莓 Promicane-fruiting red raspberry
卡洛琳 Caroline	美国 America	秋果型红树莓 Promicane-fruiting red raspberry
海尔特兹 Heritage	美国 America	秋果型红树莓 Promicane-fruiting red raspberry
金秋 Fall Gold	美国 America	秋果型黄树莓 Promicane-fruiting yellow raspberry
波拉纳 Polana	加拿大 Canada	秋果型红树莓 Promicane-fruiting red raspberry

新星 Nova	加拿大 Canada	秋果型红树莓 Promicane-fruiting red raspberry
波尔卡 Polka	波兰 Poland	秋果型红树莓 Promicane-fruiting red raspberry
丰满红 Fengmanhong	中国 China	秋果型红树莓 Promicane-fruiting red raspberry
秋萍 Qiuping	中国 China	秋果型红树莓 Promicane-fruiting red raspberry
叮康 Dinkun	澳大利亚 Australian	秋果型红树莓 Promicane-fruiting red raspberry

## 1.2 试验地概况

试验地山西农业大学果树研究所位于东经 112°30'17"，北纬 37°20'58"，属温带大陆性季风气候，年均气温 5~10℃，年均降雨量 458 mm，无霜期 160~190 d。试验地土壤为壤土，其气候和生态条件能够满足树莓的正常生长及其性状的正常表达。树莓定植时行距 2.5 m，株距 30 cm；植株间树势基本一致；果园肥水管理及果树修剪均按树莓常规管理方法实行。

以每 20 株成龄树莓植株为 1 个试验小区，设 3 次重复，连续观察 3 年。

## 1.3 试验方法

参照《树莓种质资源描述规范和数据标准》，对树莓物候期、生物学特性及果实品质进行观测及测定。具体观测及测定指标如下：

**物候期：**以试验小区为对象，采用目测法观察记录树莓的萌芽期、基生枝出土期、展叶期、始花期、果实始熟期、采收末期、落叶期等物候期指标。

**生物学特性：**在春梢停止生长到落叶前，从每个试验小区随机抽取植株 10 个或叶片 10 片，测定株高、基茎、根蘖苗数量、叶片长度、叶片宽度、叶片面积等生物学特性，计算比叶重。采用乙醇提取比色法测定叶片叶绿素。采用 L1-6400 光合仪（美国 L1-COR 公司）测定叶片净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率。

**果实品质：**在始熟期，以试验小区为对象，每个品种树莓采集 10~20 个成熟果实带回实验室保存贮藏，测定果实单果质量、果柄长、果实纵径、果实横径等果实外在品质，计算果形指数。测定可溶性糖、可溶性固形物、可滴定酸、可溶性蛋白（考马斯亮蓝法）、维生素 C 等果实内在品质，计算固酸比。

## 1.4 数据分析

采用 Excel 2021 和 SPSS 25.0 软件进行数据统计分析，数据以平均值±标准误表示，显著性采用 LSD 检验 ( $p \leq 0.05$ )。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同品种树莓物候期

试验树莓的萌芽期集中在 3 月下旬，其中，米克、费尔杜德、拖拉米、卡洛琳、海尔特兹、金秋、波拉纳、波尔卡和叮康萌芽期最早（3 月 20 日左右），秋福萌芽期最晚（3 月 31 日左右）。试验树莓的基生枝出土期集中在 3 月末 4 月初，其中，卡洛琳基生枝出土期最早（3 月 27 日左右），秋福基生枝出土期最晚（4 月 7 日左右）。试验树莓展叶期集中在 4 月上旬，其中，米克、费尔杜德、拖拉米、海尔特兹、金秋、波拉纳、波尔卡和叮康展叶期最早

(4月1日左右), 秋福展叶期最晚(4月11日左右)。试验树莓始花期集中在5月中旬, 其中, 秋果红、费尔杜德、波拉纳和新星始花期最早(5月10日左右), 米克和秋萍始花期最晚(5月20日左右)。

在常规田间管理下, 夏果型树莓一年结一次果, 秋果型树莓一年结两次果, 所以秋果型树莓果实成熟期较夏果型树莓长。夏果型树莓果实始熟期集中在6月, 采收末期集中在7月中旬, 其中, 秋果红果实始熟期最早(6月8日左右), 采收末期最晚(7月10日左右), 果实挂果期最长(33 d左右); 费尔杜德果实始熟期最早(6月23日左右), 果实挂果期最短(21 d左右)。秋果型树莓中二年生老枝果实始熟期集中在6月, 采收末期主要集中在7月; 基生枝果实始熟期集中在8月, 采收末期集中在9月, 其中, 町康果实挂果期最长(共83 d左右), 海尔特兹挂果期最短(共57 d左右)。

试验树莓的落叶期除秋福为11月上旬外, 其余品种树莓的落叶期均集中在10月下旬。

## 2.2 不同品种树莓生物学特性

由表2可见, 不同品种树莓枝条和叶片特性存在显著性差异。具体表现为, 就株高而言, 夏果型树莓普遍高于秋果型树莓。其中, 夏果型树莓米克株高显著高于其余品种, 而秋果型树莓波拉纳除与秋英和秋萍株高无显著差异外, 均显著低于其余品种树莓株高。此外, 试验树莓株高在114.5~346.0 cm之间, 方便采摘。就基径而言, 秋果红、美国22号、米克、费尔杜德、秋英、波尔卡和秋萍基径最大, 而波拉纳和丰满红基径最小。就根蘖苗数量而言, 美国22号、米克和町康根蘖苗数量最多, 显著高于其余品种, 而丰满红根蘖苗数量最少, 显著低于其余品种。

在试验树莓的叶片特性方面(表2), 秋果型树莓的叶片长度、叶片宽度和叶片面积普遍高于夏果型树莓。其中, 秋果型树莓波尔卡的叶片长度、叶片宽度和叶片面积均显著高于其余品种, 而夏果型树莓秋果红、美国22号和费尔杜德的叶片长度、叶片宽度和叶片面积相对较低。就比叶重而言, 美国22号、秋英和秋福的比叶重显著高于大部分品种, 而海尔特兹的比叶重显著低于大部分品种。

如图1所示, 不同品种树莓的光合作用特性存在显著差异。叶绿素含量最高的品种为米克, 可达 $3.41 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 最低品种为波拉纳, 仅为 $2.24 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 米克叶绿素含量显著高于波拉纳52.23%(图1A)。净光合速率是光合作用强弱的直观体现, 净光合速率最高的品种为美国22号, 可达 $13.56 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 最低品种为金秋, 仅为 $4.65 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 美国22号净光合速率显著高于金秋191.61%(图1B)。气孔导度是衡量植物叶片气体交换速度以及叶片光合作用强弱的主要参数, 气孔导度最高的品种为秋英, 可达 $0.353 \text{ mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 显著高于其余品种树莓, 最低品种为金秋, 仅为 $0.051 \text{ mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 秋英气孔导度显著高于金秋592.16%(图1C)。胞间 $\text{CO}_2$ 浓度可作为判定植物“光合午休”现象是否受到非气孔限制的依据, 胞间 $\text{CO}_2$ 浓度最高的品种为秋福, 可达 $385 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 最低品种为秋萍, 仅为 $176 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 秋福胞间 $\text{CO}_2$ 浓度显著高于秋萍118.75%(图1D)。

蒸腾速率是描述植物水分状况的重要生理指标,蒸腾速率最高的品种为美国 22 号,可达  $7.04 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,显著高于其余品种树莓,最低的品种为秋果红,仅为  $1.97 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,美国 22 号蒸腾速率显著高于秋果红 257.36% (图 1 E)。

表 2 不同品种树莓枝条、叶片特性

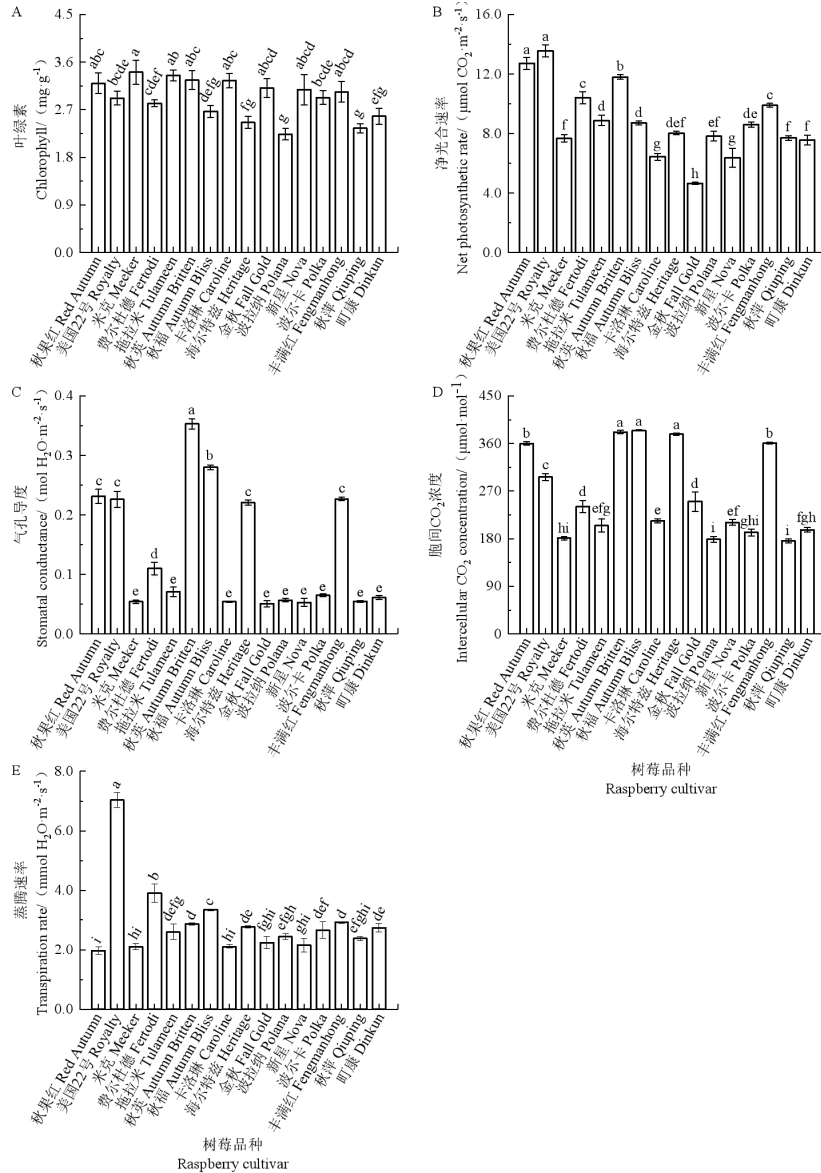
Table 2 Branch and leaf traits of raspberry varieties

品种	株高/cm	基茎/mm	根蘖苗数量	叶片长度/cm	叶片宽度/cm	叶片面积/cm <sup>2</sup>	比叶重/(g·m <sup>-2</sup> )
Varieties	Plant height/mm	Caudex/mm	Number of root tiller seedling	Leaf length/mm	Leaf width/mm	Leaf area/cm <sup>2</sup>	Specific leaf weight/(g·m <sup>-2</sup> )
秋果红 Red Autumn	184.1±6.17 d	13.56±2.6 a	7.7±1.1 ef	15.38±1.00 e	14.04±1.21 h	112.82±13.75 f	61.26±4.29 cd
美国 22 号 Royalty	262.5±11.53 c	12.97±2.5 abc	18.6±1.4 a	15.50±1.28 e	13.95±1.32 h	102.17±13.27 f	69.48±3.76 a
米克 Meeker	346.0±10.21 a	13.10±1.7 ab	17.4±2.0 a	17.75±1.73 cd	15.93±1.58 defg	123.55±24.36 def	58.21±4.60 de
费尔杜德 Fertodi	326.5±7.38 b	12.63±2.8 abcd	13.2±1.7 b	15.70±1.37 e	14.26±1.36 h	101.04±14.21 f	62.28±6.84 bcd
拖拉米 Tulameen	194.9±4.22 d	11.49±3.2 bcde	6.5±1.0 f	18.28±1.40 cd	16.02±1.66 def	139.96±21.54 cde	57.15±7.55 def
秋英 Autumn Britten	123.2±8.98 ij	11.97±1.9 abcde	7.4±1.6 ef	18.66±1.55 c	16.75±1.49 bede	143.47±25.25 cd	71.74±5.93 a
秋福 Autumn Bliss	155.2±4.15 ef	10.77±1.9 de	9.4±1.4 cd	19.34±2.23 c	16.66±2.31 cde	152.15±33.13 bc	69.31±8.21 a
卡洛琳 Caroline	148.5±3.66 efg	11.18±1.7 cde	8.7±1.6 cde	21.10±0.84 b	18.24±1.00 b	168.2±13.76 b	61.87±4.90 cd
海尔特兹 Heritage	132.6±3.64 ghi	10.91±1.4 de	8.2±1.4 de	21.05±2.16 b	17.95±1.58 bc	157.35±24.13 bc	52.32±4.67 f
金秋 Fall Gold	136.7±3.97 ghi	11.14±2.0 cde	9.9±1.4 c	16.70±1.51 de	15.41±1.62 efg	120.54±24.77 ef	57.94±4.00 def
波拉纳 Polana	114.5±4.04 j	10.57±1.7 e	9.8±1.0 c	18.81±1.97 c	16.94±1.67 bede	139.15±26.47 cde	55.42±4.37 ef
新星 Nova	162.7±2.84 e	11.61±1.9 bcde	13.9±1.9 b	16.65±2.02 de	14.38±1.82 gh	124.96±23.76 def	67.64±3.88 abc
波尔卡 Polka	143.5±6.06 fgh	11.76±1.5 abcde	13.6±1.7 b	24.34±1.50 a	20.58±0.95 a	201.22±20.25 a	57.97±6.33 def
丰满红 Fengmanhong	135.8±2.63 ghi	10.49±1.7 e	4.7±1.1 g	15.90±0.67 e	14.63±1.01 fgh	118.86±10.70 ef	66.14±5.25 abc
秋萍 Qiuping	128.5±4.02 hij	12.15±1.5 abcde	8.3±1.3 de	19.10±1.10 c	17.86±0.96 bc	162.66±16.85 bc	68.27±6.14 ab
町康 Dinkun	147.5±4.61 efg	11.2±1.8 bcde	18.7±2.0 a	19.18±2.18 c	17.48±2.19 bcd	168.88±39.28 b	53.14±8.06 ef

注：数据以平均值±标准误差表示；不同字母表示不同品种间差异显著 ( $p < 0.05$ )。

Note: Data are mean ± standard error; different letters represent significant differences between different raspberry varieties at  $p < 0.05$ .





误差线表示标准误；不同字母表示处理间差异显著 ( $p < 0.05$ )。

Error bars are standard error of the mean; different letters represent significant differences between different raspberry varieties at  $p < 0.05$ .

图 1 不同品种树莓光合作用特性

Fig.1 Photosynthetic traits of raspberry varieties

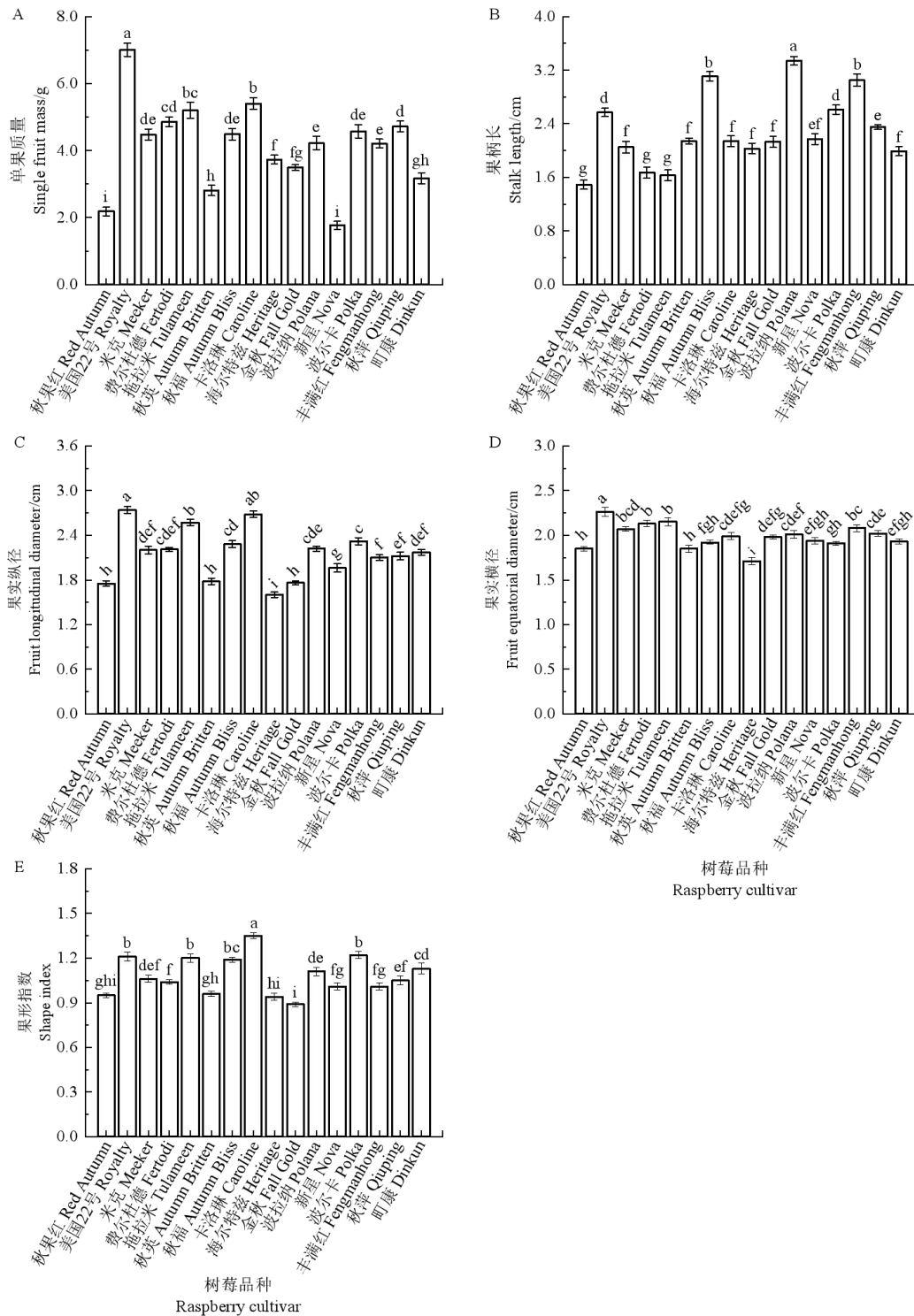
### 2.3 不同品种树莓果实品质

果实品质是树莓经济价值的重要表现，对当地树莓品种的筛选、育种、生产及销售都具有重要的指导意义。

由图 2 A 可以看出，单果质量最大的品种是美国 22 号，可达 7.01 g，最小的品种是新星，仅为 1.77 g，美国 22 号单果质量显著高于新星 296.05%。试验树莓的平均单果质量为 4.14 g，有 10 个品种树莓单果质量在均值以上，6 个品种树莓单果质量未达到均值。由图 2 B

可以看出,果柄长度最大的品种是波拉纳,可达 3.34 cm,最小的品种是秋果红,仅为 1.49 cm,波拉纳果柄长显著高于秋果红 124.16%。试验树莓的平均果柄长为 2.28 cm,有 6 个品种树莓果柄长在均值以上,10 个品种树莓果柄长未达到均值。由图 2 C 和图 2 D 可以看出,果实纵径和横径最大的品种是美国 22 号,分别可达 2.74 和 2.26 cm,最小的品种是海尔特兹,分别仅为 1.60 和 1.71 cm,美国 22 号果实纵径和横径分别显著高于海尔特兹 71.25%和 32.16%。试验树莓的平均果实纵径和横径分别为 2.15 和 1.99 cm,分别有 9 个品种树莓果实纵径在均值以上,7 个品种树莓果实纵径未达到均值,8 个品种树莓果实横径在均值以上,8 个品种树莓果实横径未达到均值。由图 2 E 可以看出,果形指数最大的品种是卡洛琳,可达 1.35,最小的品种是金秋,仅为 0.89,卡洛琳果形指数显著高于金秋 51.69%。试验树莓的平均果形指数为 1.08,有 7 个品种树莓果形指数在均值以上,9 个品种树莓果形指数未达到均值。

通过测定试验树莓果实营养特性可知,在可溶性糖和可溶性固形物方面(图 3 A 和图 3 B),含量最高的品种是费尔杜德,分别可达 8.34%和 13.59%,含量最低的种类分别是秋果红和丰满红,分别仅为 5.23%和 8.61%,费尔杜德可溶性糖含量显著高于秋果红 59.46%,可溶性固形物含量显著高于丰满红 57.84%。试验树莓的平均可溶性糖和可溶性固形物含量分别为 6.89%和 11.27%,有 8 个品种树莓可溶性糖和可溶性固形物含量在均值以上,8 个品种树莓可溶性糖和可溶性固形物含量未达到均值。在可滴定酸方面(图 3 C),含量最高的品种是拖拉米,可达 2.37%,含量最低的种类是美国 22 号,仅为 1.17%,拖拉米可滴定酸含量显著高于美国 22 号 102.56%。试验树莓的平均可滴定酸含量为 1.52%,有 7 个品种树莓可滴定酸含量在均值以上,9 个品种树莓可滴定酸含量未达到均值。计算试验树莓固酸比可知(图 3 D),固酸比最高的品种是米克,可达 10.83,固酸比最低的种类是秋福,仅为 4.90,米克固酸比显著高于秋福 121.02%。试验树莓的平均固酸比为 7.71,有 9 个品种树莓固酸比在均值以上,7 个品种树莓固酸比未达到均值。在可溶性蛋白方面(图 3 E),含量最高的品种是米克,可达  $1.20 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的种类是秋果红,仅为  $0.90 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,米克可溶性蛋白含量显著高于秋果红 33.33%。试验树莓的平均可溶性蛋白含量为  $1.03 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,有 9 个品种树莓可溶性蛋白含量在均值以上,7 个品种树莓可溶性蛋白含量未达到均值。在维生素 C 方面(图 3 F),含量最高的品种是新星,可达  $392.03 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,含量最低的种类是丰满红,仅为  $98.02 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,新星维生素 C 含量显著高于丰满红 299.95%。试验树莓的平均维生素 C 含量为  $233.62 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,有 8 个品种树莓维生素 C 含量在均值以上,8 个品种树莓维生素 C 含量未达到均值。

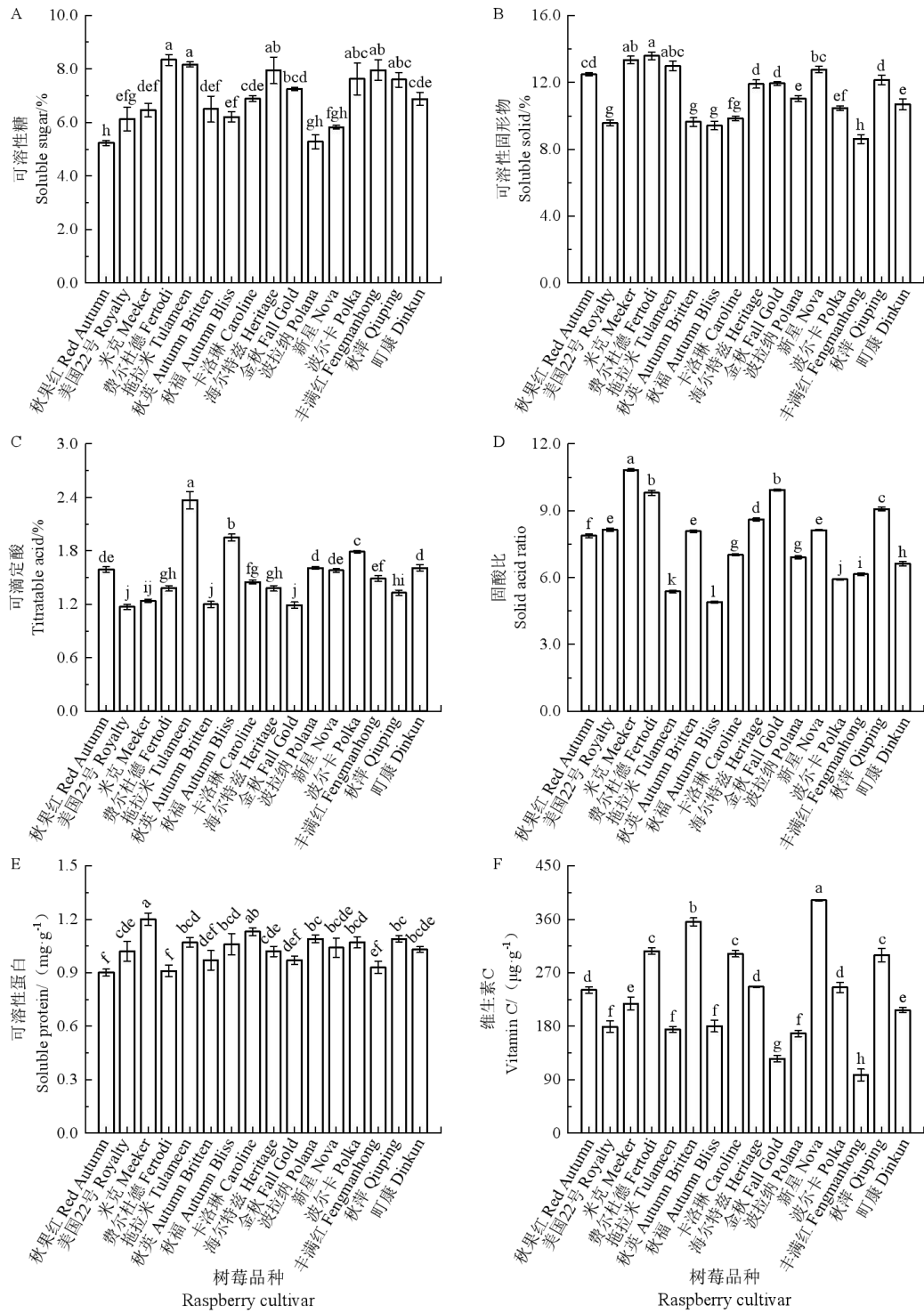


误差线表示标准误；不同字母表示处理间差异显著 ( $p < 0.05$ )。

Error bars are standard error of the mean; different letters represent significant differences between different raspberry varieties at  $p < 0.05$ .

图 2 不同品种树莓果实外观品质

Fig.2 Appearance quality traits of raspberry varieties



误差线表示标准误；不同字母表示处理间差异显著 ( $p < 0.05$ )。

Error bars are standard error of the mean; different letters represent significant differences between different raspberry varieties at  $p < 0.05$ .

图 3 不同品种树莓果实营养特性

Fig.3 Nutritional traits of raspberry varieties

## 2.4 不同品种树莓生物学与果实品质指标相关性分析

试验树莓的生物学指标与果实品质间的相关性分析如图 4 所示。试验树莓株高与基径( $R = 0.68$ )及根蘖苗数量( $R = 0.54$ )呈显著正相关关系,与叶面积( $R = -0.55$ )呈显著负相关关系。试验树莓叶片长度与叶片宽度( $R = 0.98$ )及叶片面积( $R = 0.95$ )呈显著正相关关系。试验树莓叶片宽度与叶片面积( $R = 0.96$ )呈显著正相关关系。

试验树莓净光合速率与基径( $R = 0.55$ )、气孔导度( $R = 0.70$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $R = 0.52$ )及蒸腾速率( $R = 0.60$ )呈显著正相关关系。试验树莓气孔导度与比叶重( $R = 0.51$ )及胞间  $CO_2$  浓度( $R = 0.94$ )呈显著正相关关系。

试验树莓单果质量与蒸腾速率( $R = 0.64$ )、果实纵径( $R = 0.80$ )、果实横径( $R = 0.69$ )及果形指数( $R = 0.65$ )呈显著正相关关系。试验树莓果柄长与基径( $R = -0.56$ )呈显著负相关关系。试验树莓果实纵径与果实横径( $R = 0.73$ )及果形指数( $R = 0.91$ )呈显著正相关关系。试验树莓果实横径与株高( $R = 0.56$ )及蒸腾速率( $R = 0.55$ )呈显著正相关关系。

试验树莓可溶性固形物与气孔导度( $R = -0.50$ )及果柄长( $R = -0.66$ )呈显著负相关关系。试验树莓可溶性蛋白与叶片长度( $R = 0.51$ )、叶片宽度( $R = 0.96$ )及果形指数( $R = 0.55$ )呈显著正相关关系,与胞间  $CO_2$  浓度( $R = -0.58$ )呈显著负相关关系。试验树莓固酸比与基径( $R = 0.52$ )及可溶性固形物( $R = 0.56$ )呈显著正相关关系,与果形指数( $R = -0.55$ )及可滴定酸( $R = -0.78$ )呈显著负相关关系。

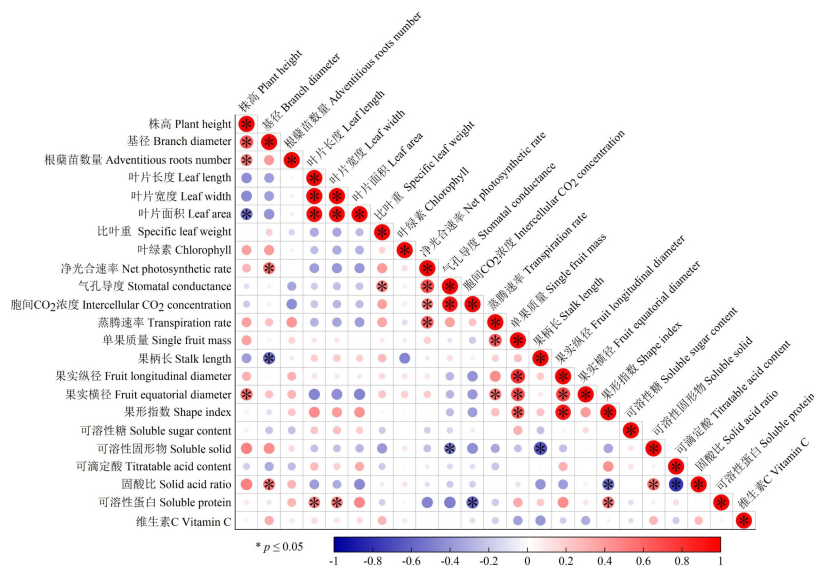


图 4 不同品种树莓各指标间的相关性分析

Fig.4 Correlation analysis among different indexes of raspberry varieties

## 2.5 不同品种树莓生物学与果实品质指标主成分分析

对 16 个品种树莓的 23 个生物学和果实品质指标进行主成分分析 (表 3), 提取了 7 个主成分, 累积贡献率 88.621%, 表明提取的 7 个主成分能够代表试验树莓 23 个指标的绝大

部分信息。其中，主成分 1 的贡献率为 24.588%，其主要由株高和基径决定，这些指标反映树莓生长特性。称为树莓形态生长决定因子。主成分 2 的贡献率为 19.554%，其主要由单果质量、果实纵径和果实横径决定，这些指标反应树莓果实的外观品质，称为果实外观质量决定因子。主成分 3 的贡献率为 17.417%，其主要由气孔导度和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度决定，这些指标反应树莓叶片的光合特性，称为树莓光合作用决定因子。主成分 4 的贡献率为 8.383%，其主要由维生素 C 决定，反应树莓果实的抗氧化能力，称为抗氧化能力决定因子。主成分 5 的贡献率 7.774%，其主要由可滴定酸决定，反应树莓果实的酸甜风味，称为果实风味决定因子。主成分 6 的贡献率为 6.220%，其主要由可溶性糖决定，反应树莓果实糖分含量情况，称为果实糖分决定因子。主成分 7 的贡献率为 4.686%，其主要由比叶重决定，反应树莓叶片特性，称为树莓叶片特性决定因子。

表 3 各主成分的总方差解释及特征向量

Table 3 Total variance explained and component matrix of principle components

指标 Index	主成分						
	1	2	3	4	5	6	7
特征值 Eigenvalues	5.655	4.497	4.006	1.928	1.788	1.431	1.078
贡献率/% Rate of variance/%	24.588	19.554	17.417	8.383	7.774	6.220	4.686
累积贡献率/% Cumulative %	24.588	44.142	61.559	69.941	77.715	83.935	88.621
株高 Plant height	0.590	0.579	-0.330	0.072	0.102	0.128	-0.091
基径 Caudex	0.666	0.252	-0.311	0.451	0.204	0.017	-0.154
根蘖苗数量 Number of root tiller seedling	0.145	0.534	-0.318	0.327	-0.351	-0.060	-0.392
叶片长度 Leaf length	-0.875	-0.033	-0.045	0.367	0.072	0.236	-0.039
叶片宽度 Leaf width	-0.880	-0.045	-0.078	0.339	-0.011	0.266	-0.007
叶片面积 Leaf area	-0.905	-0.091	-0.025	0.336	0.091	0.140	-0.039
比叶重 Specific leaf weight/	0.356	0.052	0.526	0.344	0.016	-0.259	0.516
叶绿素 Chlorophyll	0.352	0.109	-0.133	0.053	0.590	-0.195	0.334
净光合速率 Net photosynthetic rate	0.579	0.108	0.529	0.304	0.247	0.136	-0.302
气孔导度 Stomatal conductance	0.381	-0.383	0.727	0.278	0.115	0.136	-0.057
胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration	0.356	-0.528	0.655	0.093	0.120	0.175	-0.044
蒸腾速率 Transpiration rate	0.412	0.543	0.512	0.148	-0.217	0.275	-0.176
单果质量 Single fruit mass	-0.077	0.826	0.291	-0.037	-0.060	0.372	0.120
果柄长 Stalk length	-0.376	0.103	0.593	-0.118	-0.551	-0.232	0.082
果实纵径 Fruit longitudinal diameter	-0.206	0.918	0.223	0.016	0.168	-0.103	0.067
果实横径 Fruit equatorial diameter	0.323	0.839	0.086	-0.321	-0.018	-0.039	0.189
果形指数 Shape index	-0.494	0.734	0.235	0.190	0.234	-0.127	-0.017

可溶性糖 Soluble sugar	-0.181	0.085	-0.101	-0.296	0.254	0.791	0.307
可溶性固形物 Soluble solid	0.272	0.000	-0.843	-0.148	0.191	0.031	-0.130
可滴定酸 Titratable acid	-0.455	0.112	0.138	-0.328	0.645	-0.227	-0.295
固酸比 Solid acid ratio	0.547	-0.048	-0.626	0.148	-0.398	0.224	0.219
可溶性蛋白 Soluble protein	-0.550	0.470	-0.307	0.221	-0.134	-0.237	0.132
维生素 C Vitamin C	0.067	-0.187	-0.348	0.697	0.176	-0.107	0.240

## 2.6 不同品种树莓综合评价

采用 2.5 主成分分析结果构建引进试验树莓种质资源综合评价模型。7 个主成分的得分公示如下：

$$F_{1-7} = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + \alpha_6 X_6 + \alpha_7 X_7 + \alpha_8 X_8 + \alpha_9 X_9 + \alpha_{10} X_{10} + \alpha_{11} X_{11} + \alpha_{12} X_{12} + \alpha_{13} X_{13} + \alpha_{14} X_{14} + \alpha_{15} X_{15} + \alpha_{16} X_{16} + \alpha_{17} X_{17} + \alpha_{18} X_{18} + \alpha_{19} X_{19} + \alpha_{20} X_{20} + \alpha_{21} X_{21} + \alpha_{22} X_{22} + \alpha_{23} X_{23}$$

式中： $F_{1-7}$  表示不同品种树莓在 7 个主成分上的得分值， $\alpha_1 \sim \alpha_{23}$  表示试验树莓指标对应的特征向量（见表 3）， $X_1 \sim X_{23}$  表示试验树莓株高、基径等 23 个指标的平均值。

以主成分对应的方差贡献率为权重（见表 3），构建试验树莓综合评价模型，如下：

$$F = (\lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2 + \lambda_3 F_3 + \lambda_4 F_4 + \lambda_5 F_5 + \lambda_6 F_6 + \lambda_7 F_7) / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_7)$$

利用上述模型计算试验树莓的综合得分值，并根据分值由高到低排序，如表 4 所示。

表 4 不同品种树莓主成分得分和综合得分评价

Table 4 Principal component scores and comprehensive evaluation of raspberry varieties

类型	品种	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F$	排名
Type	Varieties									Ranking
夏果型	费尔杜德 Fertodi	205.36	17.49	-76.95	313.78	128.58	83.88	22.44	93.75	1
	美国 22 号 Royalty	180.43	-17.93	32.57	230.19	103.5	98.38	-8.47	89.81	2
	米克 Mecker	165.34	75.52	-96.98	258.4	107.47	86.62	0.53	83.46	3
	秋果红 Red Autumn	149.13	-123.25	73.63	272.87	121.32	91.19	14.11	72.25	4
	拖拉米 Tulameen	60.80	-22.29	-7.94	219.56	96.004	79.74	5.25	45.46	5
秋果型	丰满红 Fengmanhong	97.96	-125.06	146.37	168.38	91.02	103.65	-12.41	58.88	1
	秋福 Autumn Bliss	88.13	-142.08	124.49	244.01	111.93	105.58	0.33	57.90	2
	秋英 Autumn Britten	93.45	-194.05	70.48	361.92	139.35	82.01	46.37	51.63	3
	海尔特兹 Heritage	71.92	-167.25	97.97	289.99	120.83	98.22	19.90	48.28	4
	金秋 Fall Gold	59.43	-70.59	52.62	178.97	79.18	81.27	-1.51	40.75	5
	新星 Nova	76.85	-83.93	-74.73	366.36	124.53	47.25	58.31	40.10	6
	卡洛琳 Caroline	13.95	-79.90	-32.21	318.29	113.71	65.76	39.09	26.68	7
	叮康 Dinkun	5.26	-50.58	-13.43	253.41	91.58	71.29	12.09	25.31	8
波拉纳 Polana	2.60	-54.21	3.97	208.80	78.09	63.12	10.88	21.15	9	

秋萍 Qiuping	-1.37	-71.50	-52.26	309.4	105.61	56.83	41.92	18.31	10
波尔卡 Polka	-33.64	-61.50	-26.51	291.26	103.05	73.53	22.26	14.82	11

综合得分值的高低反应了该品种综合品质的优劣。由表 4 可知, 夏果型树莓中, 费尔杜德、美国 22 号和米克综合得分较高。较其他夏果型品种而言, 这三个品种树莓树势和光合作用较强, 果实外观品质及营养品质较高, 综合表现较好。而夏果型树莓拖拉米的综合得分较低, 综合表现较差。秋果型树莓中, 丰满红、秋福和秋英综合得分较高。较其他秋果型品种而言, 这三个品种树莓的生物学特性和果实品质综合表现较好, 综合评价较高。而秋果型树莓秋萍和波尔卡的综合得分较低, 综合表现较差。

### 3 讨论

#### 3.1 引种树莓适应性评价

树莓有很强的环境适应力, 种植第二年便可开花结果, 第 3~4 年进入盛果期, 是周期短、见效快的新型果树。通过对引种后的种质资源进行鉴定评价, 可以更好的认识、筛选和利用适宜当地种植的优异资源, 为其合理利用提供依据<sup>[8-10]</sup>。在本研究中, 从不同品种树莓物候期和枝条、叶片特性可知, 16 个品种树莓在山西均表现出良好的适应性, 可以正常发芽、开花及结果。山西与沈阳的气候特征及土壤特性有一定的相似性, 因此试验树莓良好的适应性可归因于引种对象树莓本身的生态适应性与栽植地山西省生态条件的符合度较高<sup>[11]</sup>。但与引种地沈阳相比, 山西省年均温偏高, 无霜期长, 故引种树莓萌芽期、始花期、果实始熟期等均早于其在引种地日期, 其中费尔杜德、拖拉米和秋福萌芽期提前沈阳约 1 个月左右, 始花期提前沈阳半个月左右, 果实始熟期提前沈阳 10 d 左右<sup>[12]</sup>。

品种的差异导致试验树莓的物候期和枝条、叶片特性存在一定差异。值得注意的是, 夏果型树莓的株高范围为 184.1~346.0 cm, 显著高于秋果型树莓的株高范围 114.5~162.7 cm。但夏果型树莓的叶片 (叶片长度: 15.38~18.28 cm, 叶片宽度: 16.65~24.34 cm, 叶片面积 101.04~139.96 cm<sup>2</sup>) 却普遍小于秋果型树莓叶片 (叶片长度: 16.65~24.34 cm, 叶片宽度: 14.38~20.58 cm, 叶片面积 124.96~201.22 cm<sup>2</sup>)。与引种地沈阳相比, 各品种树莓的株高普遍较低, 如秋福、海尔特兹和秋萍在沈阳种植时其株高分别为 130~180、150~200 和 130~170 cm, 而其在山西省种植时株高分别为 151~159、129~136 和 124~132 cm<sup>[13,14]</sup>。造成这种差异的原因可能与栽植地气候条件、土壤类型和肥力、水分供应、田间管理及种植密度等有关。

#### 3.2 树莓果实经济性状评价

外观品质是树莓重要的商品性状, 是吸引消费者购买与否的重要外在指标<sup>[15]</sup>。就本研究中夏果型和秋果型树莓而言, 二者在外观品质和营养特性方面各有优劣。夏果型树莓形态生长较强, 单果质量普遍高于秋果型树莓, 其中美国 22 号的单果质量、果实纵径和果实横径均为最大。但夏果型树莓的果实采收期相对较短, 综合产量低于秋果型树莓。

树莓果实营养特性决定了其口感、营养及贮藏期, 是其最重要的性状<sup>[15]</sup>。树莓可溶性固形物与可滴定酸是互相影响且相互独立的两个营养特性, 其共同控制树莓果实风味品质,



一般情况下，固酸比越大，其口感越好<sup>[16]</sup>。本研究 16 个试验品种中，固酸比最大的品种是米克，其口感为酸甜，而秋福的固酸比最小，口感较酸。将本研究中的费尔杜德和拖拉米与引种地辽宁相比发现，其可溶性糖、可溶性固形物与维生素 C 含量均有所升高<sup>[17]</sup>。与引种地相比，本研究中秋萍的单果质量、可溶性糖、可滴定酸含量有所升高，维生素 C 含量有所下降，可溶性固形物含量几乎一致<sup>[14]</sup>。已有研究报道，果实可溶性糖和有机酸等营养成分会随着海拔的降低和温度的升高而升高，维生素 C 含量的变化则正好相反<sup>[18]</sup>。

### 3.3 树莓相关性分析及综合评价

通过对不同品种试验树莓生物学指标与果实品质的相关性分析发现，树莓生长特性与果实品质间有一定的相关性，主要表现在其枝条、叶片特性（株高、基径、根蘖苗数量、叶片长度、叶片宽度、叶片面积、比叶重）、光合作用特性（净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率）、果实外观品质（单果质量、果柄长、果实纵径、果实横径、果形指数）与果实营养特性（可溶性固形物、可滴定酸、固酸比、可溶性蛋白）组内及组间的存在显著相关性。这一结果与梁森苗<sup>[19]</sup>等人的研究结果相似，即果树生长性状与果实品质间存在显著相关关系。

试验树莓的不同指标之间存在一定的相关性，为了更正确、简单化整理这些复杂的关系，研究者常采用多元统计的方法来处理这类数据，以便简化数据结构<sup>[20]</sup>。综合分析本研究 16 个品种树莓的生物学特性和果实品质可知，夏果型树莓费尔杜德、美国 22 号和米克综合较高，秋果型树莓丰满红、秋福和秋英综合评价较高。虽然夏果型树莓的综合得分普遍高于秋果型树莓，但随着我国树莓生产规模的逐步扩大，种植夏果型树莓集中夏季生产的现状继续调整，可利用秋果型树莓秋季生产的特性与夏果型树莓搭配生产，延长树莓的市场供应期。

## 4 结论

本研究 16 个品种树莓均能适应山西地区环境条件，完成正常的生育周期，表现出较好的适应性。夏果型树莓形态生长较强，果实大小普遍高于秋果型树莓。通过相关性分析发现，试验树莓生长特性与果实品质间存在显著相关性。主成分分析与综合评价表明，夏果型树莓费尔杜德、美国 22 号和米克及秋果型树莓丰满红、秋福和秋英在山西引种的综合表现较好，适合在山西省内推广种植。

### 参考文献References:

- [1] DROBEK M, CYBULSKA J, ZDUNEK A, LIDIA S P, FRAC M. Effect of microbial biostimulants on the antioxidant profile, antioxidant capacity and activity of enzymes influencing the quality level of raspberries (*Rubus idaeus* L.) [J]. Food Chemistry, 2024, 454: 139746.
- [2] 王小蓉, 王燕. 中国树莓属植物种质资源研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2022.  
WANG Xiaorong, WANG Yan. Research on germplasm resources of raspberry in China[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2022.
- [3] ARNOLD H, DOBSON G, FOITO A, AUSTIN C, SUNGURTAS J, ALLWOOD J W, STEWART D, MCDUGALL G J. Assessing available phytochemicals from commercial blackcurrant and raspberry pomaces[J].

Journal of Berry Research, 2022, 12 (3) : 415-431.

[4] 王建新. 红树莓优质丰产栽培技术[M]. 西安: 西北农林科技大学出版社, 2019.

WANG Jianxin. Cultivation techniques of red raspberry with high quality and abundant yield[M]. Xi'an : Northwest A&F University Press, 2019.

[5] HEIDE O M , SØNSTEBY A. Physiology of flowering and dormancy regulation in annual- and biennial-fruited red raspberry (*Rubus idaeus* L.) –a review[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2011, 86 (5) : 433-442.

[6] PALONEN P, LAINE T, MOUHU K. Floricane yield and berry quality of seven primocane red raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivars[J]. Scientia Horticulturae, 2021, 285: 110201.

[7] 张海军, 王彦辉, 张清华, 张淑兰. 国内外树莓产业发展现状研究[J]. 林业实用技术, 2010, 10: 54-56. ZHANG Haijun, WANG Yanhui, ZHANG Qinghua, ZHANG Shulan. Research on the development status of raspberry industry at home and abroad[J]. Practical Forestry Technology, 2010, 10: 54-56.

[8] 吴昊, 苏万龙, 石美娟, 薛晓芳, 任海燕, 王永康, 赵爱玲, 李登科. 枣种质果实性状多样性分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23 (6) : 1613-1625.

WU Hao, SU Wanlong, SHI Meijuan, XUE Xiaofang, REN Haiyan, WANG Yongkang, ZHAO Ailing, LI Dengke. Diversity analysis and comprehensive evaluation of jujube fruit traits[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23 (6) : 1613-1625.

[9] 秦宇, 郝瑞鑫, 李若晴, 王燕, 董宁光. 山楂种质资源表型性状多样性分析及评价[J]. 果树学报, 2022, 39 (10) : 1759-1773.

QIN Yu, HAO Ruixin, LI Ruoqing, WANG Yan, DONG Ningguang. Diversity analysis of phenotypic characters in germplasm resources of hawthorn[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39 (10) : 1759-1773.

[10] 梁艳萍, 董菲, 黄文静, 陈瑶, 丁仁展, 李坤明. 云南梨地方品种果实表型性状多样性分析[J]. 果树学报, 2024, 41 (1) : 41-51.

LIANG Yanping, DONG Fei, HUANG Wenjing, CHEN Yao, DING Renzhan, LI Kunming. Fruit phenotypic characters diversity analysis of pear native varieties in Yunnan[J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41 (1) : 41-51.

[11] 杜鹏飞. 树莓种质资源农艺学性状评价和再生体系建立的初级探索[D]. 东北农业大学, 2009.

DU Pengfei. Evaluation of agronomic characters on raspberry germplasm resources and preliminary establishment of regeneration system[D]. Northeast Agricultural University, 2009.

[12] 代汉萍, 林莉娜, 郭修武, 范雯, 王菲. 树莓不同结果型品种生长发育和开花结实特性的研究[J]. 果树学报, 2008, 25 (3) : 343-347.

DAI Hanping, LIN Lina, GUO Xiwu, FAN Wen, WANG Fei. Study on the characteristics of growth and fruiting of different fruit - bearing raspberry cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25 (3) : 343-347.

[13] 代汉萍, 栾绍武. 3个秋果型树莓品种在辽宁沈阳的栽培试验[J]. 中国果树, 2011 (3) : 40-43.

DAI Hanping, LUAN Shanwu. Cultivation experiment of 3 cultivars of promicane-fruited raspberry in Shenyang, Liaoning Province[J]. China Fruits, 2011 (3) : 40-43.

[14] 代汉萍, 王兴阳, 杜潇. 大果优质秋果型树莓新品种‘秋萍’ [J]. 园艺学报, 2012, 39 (6) : 1209-1210.

DAI Hanping, WANG Xingyang, DU Xiao. A new variety of high-quality promicane-fruited raspberry ‘Qiuping’ with large fruit[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39 (6) : 1209-1210.

[15] 李大卫, 刘小莉, 韩飞, 吕海燕, 解潇冬, 张琦, 田华, 钟彩虹. 猕猴桃新型砧木对金梅猕猴桃果实品质的影响[J]. 果树学报, 2023, 40 (10) : 2160-2169.

LI Dawei, LIU Xiaoli, HAN Fei, LÜ Haiyan, XIE Xiaodong, ZHANG Qi, TIAN Hua, ZHONG Caihong. Effect

- of new rootstocks on the fruit quality in Jinmei kiwifruit[J]. *Journal of Fruit Science*, 2023, 40 (10): 2160-2169.
- [16] 王华, 徐榕, 霍俊伟, 睢薇, 史庆馨. 黑龙江省树莓品种果实主要性状的分析评价[J]. *北方园艺*, 2008, (12): 47-48.
- WANG Hua, XU Rong, HUO Junwei, SUI Wei, SHI Qingxin. Analysis and evaluation of main fruit traits of raspberry varieties in Heilongjiang Province[J]. *Northern Horticulture*, 2008, (12): 47-48.
- [17] 王升, 魏鑫, 王宏光, 谭永军, 高树清, 刘修丽. 9个夏果型树莓品种在熊岳地区的引种栽培试验[J]. *北方果树*, 2021, (4): 9-11.
- WANG Sheng, WEI Xin, WANG Hongguang, TAN Yongjun, GAO Shuqing, LIU Xiuli. Introduction and cultivation test of 9 floricane fruiting raspberry varieties in Xiongyue region[J]. *Northern Fruits*, 2021, (4): 9-11.
- [18] 刘宽博, 王明力, 万良钰, 赵捷, 汤翠. 树莓中主要活性成分及产品研究进展[J]. *中国南方果树*, 2016, 45 (6): 178-183.
- LIU Kuanbo, WANG Mingli, WAN Liangyu, ZHAO Jie, TANG Cui. Research progress on main active components and products of raspberry[J]. *South China Fruits*, 2016, 45 (6): 178-183.
- [19] 梁森苗, 张淑文, 郑锡良, 任海英, 朱婷婷, 戚行江. 杨梅生长指标与果实品质间的相关性分析[J]. *核农学报*, 2010, 33 (4): 751-758.
- LIANG Sennmiao, ZHANG Shuwen, ZHENG Xiliang, REN Haiying, ZHU Tingting, QI Xingjiang. Correlation analysis between growth index and fruit quality of bayberry[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2010, 33 (4): 751-758.
- [20] 张彦山, 肖正璐, 顾群英, 豆丽萍, 何博. 宁县黄甘桃果实品质综合评价[J]. *果树学报*, 2024, 41 (1): 65-75.
- ZHANG Yanshan, XIAO Zhenglu, GU Qunying, DOU Liping, HE Bo. Comprehensive evaluation of the fruit quality of yellow-flesh peaches in Ningxian[J]. *Journal of Fruit Science*, 2024, 41 (1): 65-75.