

# 花椒产量构成因素的通径分析

王博恒\*, 李菲菲, 惠文斌, 纪道丹, 宋亚辉, 李孟楼\*#

西北农林科技大学, 林学院, 陕西 咸阳  
Email: vancywang@nwafu.edu.cn, #limenglou@126.com

收稿日期: 2020年10月29日; 录用日期: 2020年11月11日; 发布日期: 2020年11月18日

## 摘要

目的: 确定花椒树冠结构因子与产量的关联性, 为整形修剪和丰产管理提供基础。方法: 采用相关分析和通径分析方法, 分析 $X_1$ 树龄、 $X_2$ 干径、 $X_3$ 冠幅、 $X_4$ 树高、 $X_5$ 株营养面积、 $X_6$ 株标准枝数、株产量 $X_7$ 、栽植密度 $X_8$ 和单位面积产量 $X_9$ 调查值, 利用直接和间接相关系数、 $R^2$ 和相关概率 $Z_i$ 值, 评价 $X_i$ 与 $X_7$ 和 $X_9$ 的关联性及其重要性。结果: 结果表明,  $X_1$  (或 $X_2$ )、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_6$ 与 $X_7$ 明显相关, 各因素与 $X_7$ 的 $ZX_6$ 之间存在,  $27.36\% > ZX_3$ ,  $25.23\% > ZX_2$ ,  $17.63\%$ 和 $ZX_1$ ,  $17.33\% > ZX_4$ ,  $13.98\% > ZX_5$ ,  $-1.52\%$ , 但 $X_1$ 和 $X_2$ 同时存在时有相互抵触作用, 据此建立了评估 $X_7$ 的简易模型Mp-1和Mp-2、及高精度模型Mp-3和Mp-4; 结果还表明,  $X_9$ 对 $X_1$  (或 $X_2$ )、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_6$ 和 $X_7$ 的依赖作用明显, 各因素与 $X_9$ 的 $ZX_7$ 之间存在,  $28.53\% > ZX_6$ ,  $23.89\% > ZX_1$ ,  $21.60\%$ 、 $ZX_2$ ,  $20.32\%$ 和 $ZX_3$ ,  $21.48\% > ZX_4$ ,  $17.25\% > ZX_8$ ,  $7.66\% > ZX_5$ ,  $-7.99\%$ , 但 $X_8$ 是支撑 $X_9$ 的基础, 据此建立了 $X_9$ 的估测模型, 以 $X_7$ 值为基础的模型为MG2-1, 快速调查估测模型为MG3-1和MG3-2, 高精度模型是MG2-3和MG2-4。结论: 花椒树冠因子 $X_3$ 和 $X_6$ 是影响株产量的关键因素,  $X_3$ 和 $X_6$ 值的大小又与 $X_1$  (或 $X_2$ )、 $X_3$ 和 $X_4$ 有关; 树冠结构因子 $X_1$  (或 $X_2$ )、 $X_3$ 、 $X_4$ 和椒园环境因子 $X_8$ 是影响花椒单位面积产量的关键因子。

## 关键词

花椒, 树冠, 结构因子, 产量, 相关分析, 通径分析

# Path Analysis on the Constitute Factors of the Yield of Prickly Ash

Boheng Wang\*, Feifei Li, Wenbin Hui, Daodan Ji, Yajun Song, Menglou Li\*#

Lam College, Northwest A&F University, Xianyang Shaanxi  
Email: vancywang@nwafu.edu.cn, #limenglou@126.com

Received: Oct. 29<sup>th</sup>, 2020; accepted: Nov. 11<sup>th</sup>, 2020; published: Nov. 18<sup>th</sup>, 2020

\*共同一作。

#通讯作者。

## Abstract

**Aim:** Determine the correlation between the crown structure factors of prickly ash and the yield to provide the basis for plastic pruning and high yield management. **Methods:** The tree age ( $X_1$ ), stem diameter ( $X_2$ ), crown width ( $X_3$ ), tree height ( $X_4$ ), plant nutrient area ( $X_5$ ), plant standard branch number ( $X_6$ ), plant yield ( $X_7$ ), planting density ( $X_8$ ) and survey value of yield per unit area ( $X_9$ ) were measured by adopting correlation and path analysis methods. Direct and indirect correlation coefficients,  $R^2$  and correlation probability  $Z_i$  values were used to evaluate the relevance and importance of  $X_i$ ,  $X_7$  and  $X_9$ . **Results:**  $X_1$  (or  $X_2$ ),  $X_3$ ,  $X_4$  and  $X_6$  were apparently related to  $X_7$ , and their correlation probability values can be ranked as follows:  $Z_{X_6}$ , 27.36% >  $Z_{X_3}$ , 25.23% >  $Z_{X_2}$ , 17.63% and  $Z_{X_1}$ , 17.33% >  $Z_{X_4}$ , 13.98% >  $Z_{X_5}$ , -1.52%, while there was a conflicting effect existing between  $X_1$  and  $X_2$ . Based on the results, simple models Mp-1 and Mp-2 and high-precision models Mp-3 and Mp-4 used for evaluating  $X_7$  were established. Moreover, it also indicated that  $X_9$  showed striking dependency on  $X_1$  (or  $X_2$ ),  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_6$  and  $X_7$ , and the order of their correlation probability values was  $Z_{X_7}$ , 28.53% >  $Z_{X_6}$ , 23.89% >  $Z_{X_1}$ , 21.60%,  $Z_{X_2}$ , 20.32% and  $Z_{X_3}$ , 21.48% >  $Z_{X_4}$ , 17.25% >  $Z_{X_8}$ , 7.66% >  $Z_{X_5}$ , -7.99%, while  $X_8$  was the foundation to support  $X_9$ . According to these results, the estimation model of  $X_9$  was constructed, and the model built based on the  $X_7$  value was MG2-1. The rapid survey estimation models were MG3-1 and MG3-2, and the high-precision models were MG2-3 and MG2-4. **Conclusion:** Prickly ash tree crown factors  $X_3$  and  $X_6$  are the key factors affecting plant yield, and the values of  $X_3$  and  $X_6$  are closely related to the structural factors  $X_1$  (or  $X_2$ ),  $X_3$  and  $X_4$ . Furthermore, these structural factors and the garden environmental factor  $X_8$  are the crucial elements impacting the yield of per unit area of prickly ash.

## Keywords

Prickly Ash, Tree Crown, Structural Factors, Yield, Correlation Analysis, Path Analysis

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

栽培花椒的经济收益约占山区人均收入的 35%~90% [1] [2], 花椒园套种药材和低秆作物可增收 1/5~1/3 [3] [4], 进行修剪管理增产可达 2~4.2 倍[5] [6] [7], 施肥措施提高花椒产量 88.4%~92.9% [8]。如果所实施的修剪管理和施肥措施, 能够直接增强花椒树冠与产量相关的主要因子, 将能够进一步提高花椒产量。树冠结构与产量相关因子的研究多数采用相关及通径分析方法, 但分析时选取的因素不同、得出的结果也不同。如, 温州蜜柑的末级分枝、分枝级数、树冠体积与产量关联性密切[9], 柑橘产量与干周、一年生枝粗度、树冠容积等相关[10]; 在锦橙的总花数、营养枝数、座果率、叶面积系数、总果数、平均单果重、叶果比、树冠有效体积等 8 个性状中, 果量、单果重、叶果比值与产量关系密切[11], 梁平柚单株产量与花朵数、果数、座果率、每果叶面积和单果重相关, 而与树高/冠径、干周、树冠体积、叶面积系数、总枝数相关不显著[12]。在酥梨树高/冠径比、花芽数、总果数、座果率、枝/果, 叶面积系数、每果叶面积、平均单果重等 8 个性状中, 果量、单果重、叶/果比与产量关系密切[13], 覆盖率、树冠体积和单位面积枝量则是影响苹果产量的主要因素[14]。

在上述研究报告中,与果实产量有关的因素或性状包括间接和绝对相关两类,间接的如树高/冠径比、干周、树冠体积、总枝数、营养枝数、叶面积系数、枝/果比,绝对的如花芽数、总花数、座果率、果数、平均单果重、叶/果比。因此,选择间接相关因素研究树冠结构与产量的关系,其结果肯定是从中筛出与产量有关的主要间接相关因子[9] [10] [14];选择绝对相关因素的结果则是从中择出主要绝对相关因子,同时选择两类因素混合分析、择出的主要相关因子大概率下可能为绝对相关类型的因子[11] [13]。本文选择仅选择花椒树冠与产量相关的间接因素进行相关性和通经分析,结论如下。

## 2. 调查与分析方法

### 2.1. 调查地点和调查指标

2018年在陕西花椒主产区/县耀洲、富平和非主产区永寿、彬县的花椒样地,调查记载 $X_1$ 树龄、 $X_2$ 近地干径(简称干径)、 $X_3$ 冠幅、 $X_4$ 树高、 $X_5$ 株营养面积、 $X_6$ 株标准枝数、 $X_7$ 株产量、 $X_8$ 栽植密度(单位面积株数)、 $X_9$ 单位面积产量,每样地调查株数控制在25株左右,不足25株的全部调查。 $X_7$ 和 $X_9$ 的估算方法如下。

### 2.2. 标准枝及产量等的估算

$X_1$ 与 $X_2$ 换算:调查时较难获得 $X_1$ 真实数据,在全面调查前进行了 $X_1$ 与 $X_2$ 关系的预调查;预调查结果表明 $X_1$ 与 $X_2$ 极显著相关, $X_2 = 0.6333X_1 + 1.7251$  ( $R^2 = 0.9362, P < 0.01$ ), $X_2$ 每年递增约0.68 cm,因此全面取样调查时用 $X_1 = X_2/0.68$ 换算式计算出 $X_1$ 。

标准枝选取及其产量调查:花椒树结果枝长度平均约50 cm [15],调查时以长度50 cm可近似的代表株结果枝的枝条为标准枝。对样地进行调查前,先选取样树3株,每株剪取标准枝3条,采摘、称重、记录标准枝平均鲜花椒重量。

产量估算:1)株产量估算:调查评估选定花椒样株的株标准枝数,并重复调查3次,按照每株的平均株标准枝数及标准枝鲜花椒重量,计算出样地中各样株的鲜花椒产量、及平均株鲜花椒产量。2)单位面积产量估算:由于我国农户习惯以亩为单位计量栽培作物面积,因此本研究以666.7 m<sup>2</sup> (亩)估算单位面积鲜花椒产量;单位面积鲜花椒产量/kg=株产量 × 单位面积株数。

### 2.3. 数据处理

各变量间的相关性分析采用pearson相关的方法,基于R语言平台的“corrplot”包进行分析[16]。自变量与因变量间的回归分析采取多元线性回归的方法,基于R语言软件基础模块进行分析[17]。通经分析基于R语言平台中的“agricolae”包进行分析。文中各因子的相关性图形制作基于R语言平台的“corrplot”包。上述所有R软件包和接口,均基于R语言软件3.6.1版本。插图用Excel表格作图。

其中,几乎所有相关分析和通经分析只是比较相关系数 $r_{Yi}$ 值的大小,但这种比较反映的是 $X_i$ 与 $Y$ 的简相关程度或契合能力值,而通经系数又将 $r_{Yi}$ 区分为 $X_i$ 与 $Y$ 的直接和间接相关系数值 $P_{Yi}$ 、 $P_{Yic}$  [9] [10] [11] [12]。这说明 $r_{Yi}$ 值具有数学运算和统计分析属性,因此,本研究引入相关概率 $Z_i = (r_{Yi} / \sum r_{Yi}) 100\%$ ,将所有 $X_i$ 与 $Y$ 的 $r_{Yi}$ 值进行归一化处理,以便于在相同基础上衡量和比较各 $X_i$ 相对于 $Y$ 值重要性。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 各项调查指标统计值

在44个样地的各项调查指标统计值中,标准差相对较低的指标是单位面积株数 $X_8$ 和株营养面积 $X_5$ 、栽植年限 $X_1$ 树龄和 $X_2$ 近地干径(简称干径),修剪和管理指标 $X_3$ 冠幅和 $X_4$ 树高;产量指标即 $X_6$ 株标准枝

个数、 $X_7$ 株产量、 $X_9$ 单位面积产量的标准差较大(表 1)。此外, 由于修剪管理对花椒树高  $X_4$  的控制, 多数花椒树高在 2.5 m 左右, 只有修剪管理水平差的椒园树高可达 3.5 m 左右;  $X_5$  是每株花椒树占有的土地面积、与单位面积株数  $X_8$  意义相同。

**Table 1.** The mean number and step difference of 9 survey target indexes in 44 plots

**表 1.** 44 个样地中 9 个调查指标的均数和级差

指标 survey target	$X_{\min} - X_{\max}$	$\bar{X} \pm S$	指标 survey target	$X_{\min} - X_{\max}$	$\bar{X} \pm S$
$X_1$ 树龄/a	3.00~28.00	12.95 $\pm$ 7.20	$X_6$ 株标准枝数	3.54~506.00	95.81 $\pm$ 89.26
$X_2$ 干径/cm	3.62~20.53	9.93 $\pm$ 4.71	$X_7$ 株产量/kg	0.23~24.44	5.78 $\pm$ 5.65
$X_3$ 冠幅/cm	172.70~675.00	368.32 $\pm$ 93.53	$X_8$ 单位面积株数	16.29~69.65	44.70 $\pm$ 12.06
$X_4$ 树高/m	1.38~3.58	2.47 $\pm$ 0.56	$X_9$ 单位面积产量/kg	10.34~1118.70	256.49 $\pm$ 236.06
$X_5$ 株营养面积/m <sup>2</sup>	9.59~40.92	15.74 $\pm$ 6.31			

注:  $X_1$ , 树龄 tree age/a;  $X_2$ , 干径 near-ground stem diameter/cm;  $X_3$ , 冠幅 crown width/cm;  $X_4$ , 树高 tree height/m;  $X_5$ , 株营养面积 vegetative area of plant/m<sup>2</sup>;  $X_6$ , 株标准枝数 plant standard branches number;  $X_7$ , 株产量 plant yield/kg;  $X_8$ , 单位面积株数 unit area plant;  $X_9$ , 单位面积产量 unit area yield/kg。面积单位为 666.7 m<sup>2</sup>。

### 3.2. 花椒产量构成因素与株产量的相关性通经分析

#### 3.2.1. 树冠结构因素对株产量的直接及间接影响

对树冠结构因素  $X_1 \sim X_6$  与株产量  $X_7$  进行相关性和通经分析(表 2), 结果表明与株产量相关性顺序为  $X_6$  株标准枝数 >  $X_3$  冠幅 >  $X_1$  树龄和  $X_2$  干径 >  $X_4$  树高 >  $X_5$  株营养面积,  $X_6$ 、 $X_3$  和  $X_1$  的决定系数及其总贡献最大;  $X_6$ 、 $X_3$  和  $X_1$  的直接通经系数最大,  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  的间接通经系数之和最大, 但间接通经系数在  $X_1 \rightarrow Y$ 、 $X_3 \rightarrow Y$  尤其是  $X_6 \rightarrow Y$  基本为正值, 在  $X_2 \rightarrow Y$ 、 $X_4 \rightarrow Y$  和  $X_5 \rightarrow Y$  几乎为负值。综合分析说明,  $X_1$  或  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_6$  对株产量的影响作用明显。

**Table 2.** Direct and indirect effects between crown structure factors and plant yield of prickly ash

**表 2.** 花椒树冠结构因素对株产量的直接及间接作用

$X$	$r_{Yi}$	$P_{Yi}$	$d_{Yi} = R^2$	$r_{Yi}P_{Yi}$	$P_{Yic}$ (indirect path coefficient)						$\Sigma$
					$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$	$X_5 \rightarrow Y$	$X_6 \rightarrow Y$	
$X_1$	0.5692	0.2420	0.0586	0.1378		-0.1465	0.1309	-0.0879	-0.0029	0.4344	0.3280
$X_2$	0.5808	-0.1510	0.0228	-0.0877	0.2347		0.1434	-0.0937	-0.0027	0.4493	0.7310
$X_3$	0.8345	0.2078	0.0432	0.1734	0.1525	-0.1042		-0.0923	-0.0003	0.6665	0.6222
$X_4$	0.4610	-0.1442	0.0208	-0.0665	0.1476	-0.0982	0.1330		-0.0052	0.4269	0.6042
$X_5$	-0.0481	0.0110	0.0001	-0.0005	-0.0629	0.0378	-0.0062	0.0678		-0.0974	-0.0610
$X_6$	0.9046	0.7489	0.5608	0.6775	0.1404	-0.0906	0.1850	-0.0822	-0.0014		0.1511

注:  $r_{Yi}$  = 相关系数 correlation coefficient;  $P_{Yi}$  = 直接通经系数 directly path coefficient;  $d_{Yi} = X \rightarrow Y$  决定系数 determining coefficient;  $r_{Yi}P_{Yi} = X$  对  $R^2$  的总贡献  $X$ 's total contribution to  $R^2$ ;  $P_{Yic}$  (indirect path coefficient) = 间接通经系数。

#### 3.2.2. 树冠结构因素与株产量间的通经分析

$G_1 \sim G_6$  分析组通经分析结果表明, 各因素的直接通经系数的总趋势是  $X_6 > X_1 > X_3 > X_5 > X_4 > X_2$ , 间接通经系数的总趋势是  $X_2 > X_3 > X_4 > X_1 > X_6 > X_5$  (表 3)。表 3 还反映出, 因素  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  和  $X_4$  对株产量的影响  $\sum P_{Yic} > P_{Yi}$ , 因素  $X_5$  对株产量的影响可忽略不计, 因素  $X_6$  对株产量的影响  $P_{Y6c} > \sum P_{Y6c}$ ; 逐步

去除不敏感项后剩余项的  $P_{yi}$  和  $\sum P_{yic}$  值升降水平有差异, 去除  $X_1$  后  $P_{y2}$  和  $P_{y6}$ 、去除  $X_2$  后  $P_{y1c}$  和  $\sum P_{y3c}$ 、去除  $X_4$  后  $P_{y2c}$  增量明显。说明因素  $X_1$  和  $X_2$  有相互抵消作用,  $X_1$  树龄(或  $X_2$  干径)、 $X_3$  冠幅、 $X_6$  株标准枝数是株产量形成的基础,  $X_4$  树高对株产量有间接的提携作用。

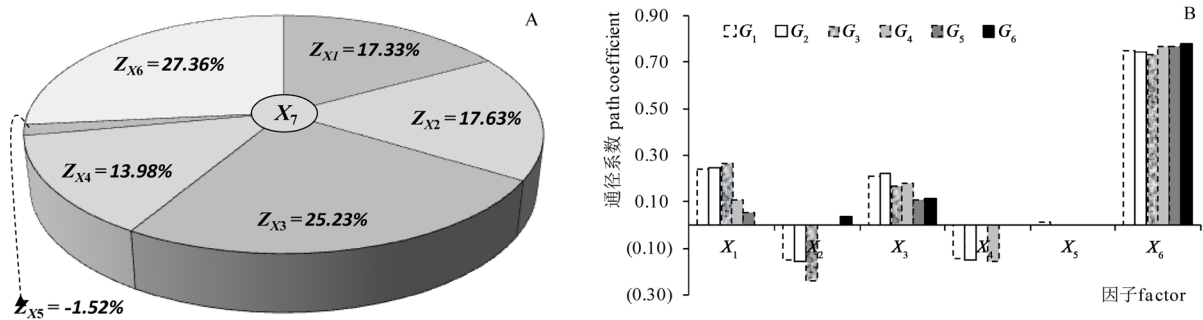
**Table 3.** Eliminate insensitivity factor gradually, direct and indirect path coefficient on plant yield ( $X_7$ ) of each factor

**表 3.** 逐步去除不敏感项, 各因素对株产量( $X_7$ )直接及间接通径系数

分析组 AG	$X_1 r_{y1} = 0.5692$		$X_2 r_{y2} = 0.5808$		$X_3 r_{y3} = 0.8345$		$X_4 r_{y4} = 0.461$		$X_5 r_{y5} = -0.0481$		$X_6 r_{y6} = 0.9046$	
	$P_{y1}$	$\sum P_{y1c}$	$P_{y2}$	$\sum P_{y2c}$	$P_{y3}$	$\sum P_{y3c}$	$P_{y4}$	$\sum P_{y4c}$	$P_{y5}$	$\sum P_{y5c}$	$P_{y6}$	$\sum P_{y6c}$
$G_1$	0.2420	0.3280	-0.1510	0.7310	0.2078	0.6222	-0.1442	0.6042	0.0110	-0.0610	0.7489	0.1511
$G_2$	0.2433	0.3267	-0.1543	0.7343	0.2190	0.6110	-0.1519	0.6119			0.7431	0.1569
$G_3$	0.2646	0.3054	-0.2367	0.8167	0.1722	0.6578					0.7352	0.1648
$G_4$	0.1081	0.4619			0.1818	0.6482	-0.1590	0.6190			0.7661	0.1339
$G_5$	0.0534	0.5166			0.1102	0.7198					0.7709	0.1291
$G_6$			0.0349	0.5451	0.1133	0.7167					0.7782	0.1218

注:  $P_{yi}$  = 直接通径系数 Direct Path Coefficient;  $\sum P_{yic}$  = 间接通径系数的合计。

在分析组  $G_1 \sim G_6$  中, 由于各因素( $X_1 \sim X_6$ )分别与株产量  $X_7$  关联的相关系数不变(表 2  $r_{Yi}$ ), 但  $r_{Yi}$  是简单相关状态下的相关值,  $X_i$  与  $X_7$  生成各因子  $r_{Yi}$  值的基础不同, 所以  $r_{Yi}$  值难以衡量的反映出其在  $X_i \rightarrow X_7$  关系中的地位高低。为此采用相关概率  $ZX_i$  对  $r_{Yi}$  值进行归一化处理, 处理后各因素与株产量  $X_7$  的相关概率值  $ZX_6 > ZX_3 > ZX_2$  和  $ZX_1 > ZX_4 > ZX_5$  (图 1(A))。图 1(B)还表明, 在分析组  $G_1 \sim G_6$  中  $X_1 \sim X_6$  的通径系数变化规律差异很大, 以  $X_6$  的通径系数最大、其次是  $X_1$  和  $X_3$ ,  $X_2$  和  $X_4$  的通径系数几乎均为负值。 $ZX_i$  和通径系数表明, 构成株产量  $X_7$  的重要程度以因素  $X_6$  最大、其次是  $X_3$ ,  $X_1$  和  $X_2$  的重要程度和作用相似,  $X_4$  的作用较小,  $X_5$  可以舍弃。



**Figure 1.** Correlation probability and path coefficient on plant yield with each factor of the  $G_1 - G_6$  analysis group

**图 1.**  $G_1 \sim G_6$  分析组中各因素与株产量间的相关概率( $Z_i$ )及通径系数

### 3.2.3. 树冠结构因素与株产量间的回归分析

逐步去除对株产量  $X_7$  影响弱的因素进行回归分析表明, 尽管去除因素个数不同, 分析组  $G_1 \sim G_6$  中各因素与  $X_7$  的相关系数也与表 1 中的  $r_{Yi}$  无差异(表 4)。虽然 6 个分析组回归方程的  $R^2$  差异很小, 但  $R^2$  值的大小为  $G_4 > G_2 > G_6 > G_1 > G_5 > G_3$ ; 此外由于  $X_1$  是由  $X_2$  值换算而来, 所以  $G_5$  与  $G_6$  组回归方程中的截距和斜率差异很小。 $G_1 \sim G_6$  组回归分析说明,  $X_1$  与  $X_2$  在回归方程中可相互替代,  $X_4$ 、 $X_5$  对株产量的影响较弱, 因此  $G_4$  组回归方程对株产量的预测效果最好。

**Table 4.** Eliminate insensitivity factor gradually, regression equation between plant yield ( $X_7$ ) and various factors  
**表 4.** 逐步去除不敏感项, 株产量( $X_7$ )与各因素间的回归方程

分析组 analytical group (AG)	因素个数 number of factor (NF)	回归方程 regression equation (RE)	RE 的 $R^2$ $R^2$ of RE
组 1 $G_1$	6	$X_7 = 0.2329X_1 - 0.2585X_2 + 0.0148X_3 - 1.5147X_4 + 0.0045X_5 + 0.0464X_6 - 0.8684$	0.8155
组 2 $G_2$	5 (去 $X_5$ )	$X_7 = 0.2331X_1 - 0.2603X_2 + 0.0152X_3 - 1.5630X_4 + 0.0462X_6 - 0.8102$	0.8204
组 3 $G_3$	4 (去 $X_5$ 、 $X_4$ )	$X_7 = 0.2416X_1 - 0.3489X_2 + 0.0124X_3 + 0.0455X_6 - 2.8241$	0.8112
组 4 $G_4$	4 (去 $X_5$ 、 $X_2$ )	$X_7 = 0.0853X_1 + 0.0117X_3 - 1.6533X_4 + 0.0484X_6 - 0.1930$	0.8226
组 5 $G_5$	3 (去 $X_5$ 、 $X_4$ 、 $X_2$ )	$X_7 = 0.0405X_1 + 0.0075X_3 + 0.0484X_6 - 2.1392$	0.8118
组 6 $G_6$	3 (去 $X_5$ 、 $X_4$ 、 $X_1$ )	$X_7 = 0.0325X_2 + 0.0079X_3 + 0.0488X_6 - 2.1430$	0.8197

在  $G_1 \sim G_6$  分析组中, 各因素对  $R^2$  总贡献不同, 因素  $X_1$ 、 $X_3$  尤其  $X_6$  的贡献最大, 逐步去除的因素  $X_2$ 、 $X_4$  和  $X_5$  对  $R^2$  总贡献几乎为负值, 但去除  $X_1$  后释放了  $X_2$  的正向贡献值;  $G_3 \sim G_6$  分析组  $X_6$  的贡献值逐步提升, 去除  $X_4$  和  $X_5$  明显提升  $X_1$  降低  $X_3$  的贡献值, 去除  $X_2$  和  $X_5$  明显降低  $X_1$  的贡献值, 去除  $X_2$ 、 $X_4$  和  $X_5$  明显降低  $X_1$  降低  $X_3$  的贡献值(表 5)。这表明株产量的形成, 因素  $X_1$  或  $X_2$ 、 $X_3$  和  $X_6$  较其他因素重要, 树高  $X_4$  的重要性相对较低, 可不考虑因素  $X_5$ 。

**Table 5.** Eliminate insensitivity factor gradually, the total contribution of each factor to  $R^2$  in plant yield ( $X_7$ ) analysis  
**表 5.** 逐步去除不敏感项, 株产量( $X_7$ )分析中各因素对  $R^2$  总贡献影响分析

分析组 analytical group (AG)	各自变量对回归方程 $R^2$ 的总贡献the total contribution of each variable to the RE $R^2$					
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
$G_1$	0.1378	-0.0877	0.1734	-0.0665	-0.0005	0.6775
$G_2$	0.1385	-0.0896	0.1827	-0.0700		0.6722
$G_3$	0.1506	-0.1375	0.1437			0.6651
$G_4$	0.0615		0.1517	-0.0733		0.6930
$G_5$	0.0304		0.0920			0.6974
$G_6$		0.0203	0.0946			0.7040

为此, 根据上述分析中对各个  $X_i$  与  $X_7$  关系或重要性的评价, 对因素新组合  $\{X_1, X_3, X_4; X_7\}$ 、 $\{X_2, X_3, X_4; X_7\}$ 、 $\{X_1, X_3, X_4, X_6; X_7\}$  及  $\{X_2, X_3, X_4, X_6; X_7\}$  进行回归分析, 获得株产量  $X_7$  回归方程 Mp-1、Mp-2、Mp-3 和 Mp-4 (表 6)。

**Table 6.** Combination and the regression model of  $X_7$   
**表 6.** 各组合与  $X_7$  的回归模型

组合	各组合与 $X_7$ 的回归模型			
Combination	回归方程 regression equation (RE)	$R^2$	S	P
Mp-1	$X_7 = 0.1055X_1 + 0.0517X_3 - 1.6607X_4 - 1.6607$	0.8451	3.1288	5.7706E-11
Mp-2	$X_7 = 0.0707X_2 + 0.0532X_3 - 1.3882X_4 - 11.1032$	0.8404	3.1727	1.0024E-10
Mp-3	$X_7 = 0.0853X_1 + 0.0117X_3 - 1.6533X_4 + 0.0483X_6 - 0.1928$	0.9160	2.3776	5.8314E-15
Mp-4	$X_7 = 0.1087X_2 + 0.0109X_3 - 1.5846X_4 + 0.0494X_6 - 0.1254$	0.9146	2.3968	7.967E-15

方程 Mp-1~Mp-4 的  $R^2$  均大于与表 3 中的  $R^2$ , 且方程对株产量预测结果与实际调查值差异很小、 $P < 0.005$ 。调查株产量时, 对  $X_6$  的估测费时费力; 因此, 如对株产量的评估精度要求不高、可选用 Mp-1 或 Mp-2 模型及其指标, 如对株产量的评估精度要求较高、则可选用 Mp-3 或 Mp-4 模型及其指标进行调查。

### 3.3. 花椒产量构成因素与单位面积(666.7 m<sup>2</sup>)产量的相关性及通经分析

#### 3.3.1. 树冠结构和椒园环境因素对单位面积产量的直接及间接影响

树冠结构因素  $X_1 \sim X_8$  (其中  $X_5$  和  $X_8$  是椒园环境因素) 与单位面积产量  $X_9$  的相关性和通经分析结果表明(表 7), 各因素与单位面积产量间的相关系数  $r_{yi}$  值依次为  $X_7 > X_6 > X_1 > X_3 > X_2 > X_4 > X_8 > X_5$ ,  $X_2$ 、 $X_7$  和  $X_8$  的决定系数  $d_{yi}$  值较大,  $X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_7$  和  $X_8$  对  $R^2$  的总贡献值较大, 直接通经系数  $P_{yi}$  值  $X_7 > X_8 > X_1$  和  $X_3 > X_5 > X_4 > X_2$  和  $X_6$ ; 间接通经系数之和  $X_2 > X_6 > (X_1, X_3 \text{ 和 } X_4) > (X_5, X_7 \text{ 和 } X_8)$ , 但间接通经系数在  $X_1 \rightarrow Y$ 、 $X_3 \rightarrow Y$ 、 $X_4 \rightarrow Y$ 、 $X_7 \rightarrow Y$  及  $X_8 \rightarrow Y$  基本为正值, 在  $X_2 \rightarrow Y$ 、 $X_5 \rightarrow Y$  和  $X_6 \rightarrow Y$  几乎为负值。综合分析说明,  $X_1$  或  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_6$  和  $X_7$  对单位面积产量的影响作用明显。

Table 7. Direct and indirect effects between crown structure factors and unit area yield of prickly ash

表 7. 花椒树冠结构因素对单位面积产量的直接及间接作用

X	$r_{yi}$	$P_{yi}$	$d_{yi} = R^2$	$r_{yi}P_{yi}$	$P_{yic}$ (indirect path coefficient)								
					$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$	$X_5 \rightarrow Y$	$X_6 \rightarrow Y$	$X_7 \rightarrow Y$	$X_8 \rightarrow Y$	$\Sigma$
$X_1$	0.7105	0.1758	0.0309	0.1249		-0.3720	0.1307	0.0343	-0.0345	-0.1042	0.7701	0.1098	0.5342
$X_2$	0.6685	-0.3835	0.1471	-0.2564	0.1705		0.1427	0.0373	-0.0273	-0.1067	0.7597	0.0773	1.0535
$X_3$	0.7068	0.1720	0.0296	0.1216	0.1336	-0.3183		0.0353	0.0086	-0.1130	0.8325	-0.0407	0.5380
$X_4$	0.5676	0.0504	0.0025	0.0286	0.1195	-0.2838	0.1204		-0.0086	-0.0866	0.6140	0.0448	0.5196
$X_5$	-0.2629	0.1437	0.0206	-0.0378	-0.0422	0.0729	0.0103	-0.0030		0.0100	-0.0937	-0.3580	-0.4037
$X_6$	0.7861	-0.1256	0.0158	-0.0987	0.1459	-0.3260	0.1548	0.0348	-0.0115		0.9054	0.0122	0.9156
$X_7$	0.9387	1.0407	1.0830	0.9768	0.1301	-0.2800	0.1376	0.0297	-0.0129	-0.1092		0.0041	-0.1007
$X_8$	0.2519	0.4068	0.1655	0.1025	0.0475	-0.0729	-0.0172	0.0055	-0.1264	-0.0038	0.0104		-0.1568

注:  $r_{yi}$  = 相关系数;  $P_{yi}$  = 直接通经系数;  $d_{yi} = X \rightarrow Y$  决定系数;  $r_{yi}P_{yi} = X$  对  $R^2$  的总贡献;  $P_{yic}$  = 间接通经系数。

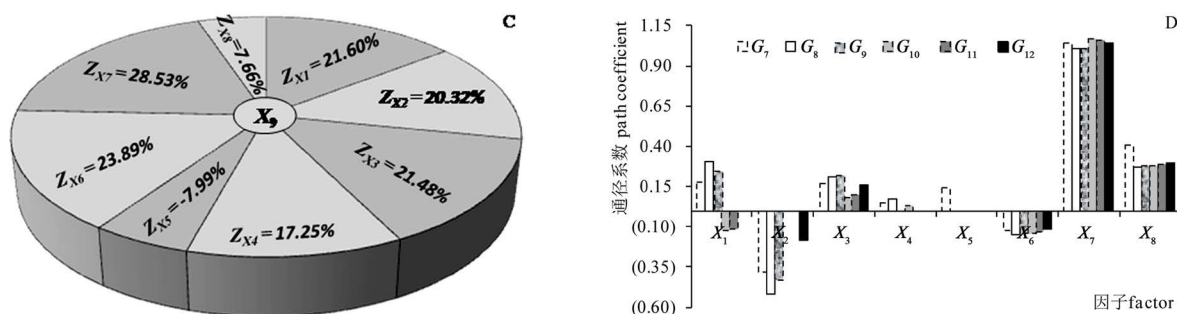
#### 3.3.2. 树冠结构和椒园环境因素与单位面积产量间的通经分析

通经分析结果表明, 分析组 G7~G12 的各因素  $P_{yi}$  总趋势是  $X_7 > X_8 > X_3 > X_5 > X_4 > X_1 > X_2$  和  $X_6$ ,  $\Sigma P_{yic}$  的总趋势是  $X_2 > X_6 > X_1 > X_3$  和  $X_4$ 、其余因素的  $\Sigma P_{yic}$  为负值(表 8)。此外,  $X_1$  和  $X_2$  的分步去除对  $P_{y1c}$  和  $P_{y2c}$  有反向互作影响, 去除  $X_2$  明显提升  $P_{y1c}$  和  $P_{y3c}$  值, 各去除项均降低  $P_{y6}$  和  $P_{y6c}$  值。这说明,  $X_1$  树龄(或  $X_2$  干径)、 $X_3$  冠幅、 $X_6$  株标准枝数是产量形成的基础,  $X_4$  树高对产量有间接的提携作用, 但因素  $X_1$  和  $X_2$  在产量分析中有相互削弱。

分析组 G7~G12 中, 各因素与单位面积产量  $X_9$  的相关概率值  $ZX_7 > ZX_6 > (ZX_1, ZX_2 \text{ 和 } ZX_3) > ZX_4 > ZX_8 > ZX_5$  (图 2(C))。在  $X_1 \sim X_8$  的通经系数变化图中(图 2(D)), 通经系数值的总体大小依次是  $X_7$ 、 $X_8$ 、 $X_3$ 、 $X_1$ 、 $X_5$  和  $X_4$ ,  $X_2$  和  $X_6$  的通经系数几乎均为负值。综合  $ZX_i$  和通经系数变化规律表明, 构成单位面积产量  $X_9$  的重要因素是  $X_7$  和  $X_6$ ,  $X_1$  和  $X_2$  的作用相同、可舍其一, 冠幅  $X_3$ 、树高  $X_4$  和栽植密度  $X_8$  是基础,  $X_5$  可以舍弃。

**Table 8.** Eliminate insensitivity factor gradually, direct and indirect path coefficient on unit area yield ( $X_9$ ) of each factor  
**表 8.** 逐步去除不敏感项, 各因素对单位面积产量( $X_9$ )直接及间接通径系数

AG	$X_1 r_{Y1} = 0.7105$		$X_2 r_{Y2} = 0.6685$		$X_3 r_{Y3} = 0.7068$		$X_4 r_{Y4} = 0.5676$		$X_5 r_{Y5} = -0.2629$		$X_6 r_{Y6} = 0.7861$		$X_7 r_{Y7} = 0.9387$		$X_8 r_{Y8} = 0.2519$	
	$P_{yi}$	$\Sigma P_{yic}$	$P_{yi}$	$\Sigma P_{yic}$	$P_{yi}$	$\Sigma P_{yic}$	$P_{yi}$	$\Sigma P_{yic}$	$P_{yi}$	$\Sigma P_{yic}$	$P_{yi}$	$\Sigma P_{yic}$	$P_{yi}$	$\Sigma P_{yic}$	$P_{yi}$	$\Sigma P_{yic}$
$G_7$	0.1758	0.5342	-0.3835	1.0535	0.1720	0.5380	0.0504	0.5196	0.1437	-0.4037	-0.1256	0.9156	1.0407	-0.1007	0.4068	-0.1568
$G_8$	0.3036	0.4064	-0.5141	1.1841	0.2100	0.5000	0.0776	0.4924			-0.1489	0.9389	1.0037	-0.0637	0.2726	-0.0226
$G_9$	0.2478	0.4622	-0.4245	1.0945	0.2198	0.4902					-0.1379	0.9279	1.0078	-0.0678	0.2798	-0.0298
$G_{10}$	-0.1232	0.8332			0.0823	0.6277	0.0333	0.5367			-0.1379	0.9279	1.0628	-0.1228	0.2813	-0.0313
$G_{11}$	-0.1143	0.8243			0.0976	0.6124					-0.1336	0.9236	1.0599	-0.1199	0.2840	-0.0340
$G_{12}$		-0.1811	0.8511		0.1597	0.5503					-0.1140	0.9040	1.0407	-0.1007	0.2934	-0.0434



**Figure 2.** Correlation probability and path coefficient on unit area yield with each factor of the  $G_7 - G_{12}$  analysis group  
**图 2.**  $G_7 \sim G_{12}$  分析组中各因素与单位面积产量( $X_9$ )间的相关概率( $Z_i$ )及通径系数

### 3.3.3. 树冠结构因素与单位面积产量间的回归分析

逐步去除对单位面积产量  $X_9$  影响弱的因素进行回归分析, 结果表明尽管去除因素个数不同, 分析组  $G_7 \sim G_{12}$  中各因素与  $X_9$  的相关系数也与表 1 中的  $r_{Yi}$  无差异(表 9)。虽然 6 个分析组回归方程的  $R^2$  差异很小, 但  $R^2$  值的大小基本可区分为差异很小的两组、即  $G_7$ 、 $G_8$  和  $G_9 > G_{10}$ 、 $G_{11}$  和  $G_{12}$ ; 此外,  $G_7$ 、 $G_8$  与  $G_9$  组回归方程中的截距和斜率基本处于同一数量级。由于  $G_7 \sim G_{12}$  组回归分析中的  $R^2$  值差异很小,  $X_1$  与  $X_2$  在回归方程中可相互替代,  $X_4$ 、 $X_5$  对产量的影响较弱, 因此  $G_{11}$  和  $G_{12}$  组回归方程对单位面积产量的预测效果较合理。

**Table 9.** Eliminate insensitivity factor gradually, regression equation between unit area yield ( $X_9$ ) and various factors  
**表 9.** 逐步去除不敏感项, 单位面积产量( $X_9$ )与各因素间的回归方程

分析组 AG	因素个数 NF	回归方程 regression equation (RE)	$R^2$ of RE
$G_7$	8	$X_9 = 13.5001X_1 - 34.4922X_2 + 0.6851X_3 + 33.5516X_4 + 3.8854X_5 - 0.8064X_6 + 20.6722X_7 + 7.0752X_8 - 508.4605$	0.9562
$G_8$	7 (去 $X_5$ )	$X_9 = 17.0705X_1 - 40.2267X_2 + 0.7704X_3 + 42.1667X_4 - 0.9019X_6 + 49.6396X_7 + 5.3252X_8 - 393.0553$	0.9562
$G_9$	6 (去 $X_5$ 、 $X_4$ )	$X_9 = 15.0906X_1 - 34.9549X_2 + 0.8104X_3 - 0.8458X_6 + 49.6442X_7 + 5.4893X_8 - 349.0807$	0.9543
$G_{10}$	6 ( $X_5$ 、 $X_2$ )	$X_9 = -3.8029X_1 + 0.3145X_3 + 17.1426X_4 - 0.7898X_6 + 52.7480X_7 + 5.6044X_8 - 333.4204$	0.9416
$G_{11}$	5 (去 $X_5$ 、 $X_4$ 、 $X_2$ )	$X_9 = -3.4698X_1 + 0.3584X_3 - 0.7716X_6 + 52.5704X_7 + 5.6607X_8 - 317.4804$	0.9432
$G_{12}$	5 (去 $X_5$ 、 $X_4$ 、 $X_1$ )	$X_9 = -10.7770X_2 + 0.5410X_3 - 0.6749X_6 + 51.8692X_7 + 5.9501X_8 - 342.8709$	0.9488



各因素对回归方程  $R^2$  的总贡献不同(表 10), 因素  $X_3$ 、 $X_8$  尤其  $X_7$  的贡献最大,  $X_6$  和逐步去除的  $X_2$  及  $X_5$  对  $R^2$  总贡献均为负值。此外, 逐步去除因素后剩余因素后  $R^2$  的总贡献升降值不同, 对  $R^2$  总贡献值的明显作用为  $X_1$  与  $X_2$  相互冲突、缺少  $X_2$  明显降低  $X_3$ 、全部去除因素均降低  $X_8$ 。这表明, 单位面积产量与因素  $X_1$  (或  $X_2$ )、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_7$  和  $X_8$  关联性强, 在预测单位面积产量时可排除  $X_2$  和  $X_5$ 、甚至  $X_1$ 。

**Table 10.** Eliminate insensitivity factor gradually, the total contribution of each factor to  $R^2$  in unit area yield ( $X_9$ ) analysis  
**表 10.** 逐步去除不敏感项, 单位面积产量( $X_9$ )分析中各因素对  $R^2$  总贡献影响分析

AG	各自变量对回归方程 $R^2$ 的总贡献							
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$
$G_7$	0.1249	-0.2564	0.1216	0.0286	-0.0378	-0.0987	0.9768	0.1025
$G_8$	0.2157	-0.3437	0.1484	0.0440		-0.1171	0.9421	0.0687
$G_9$	0.1761	-0.2837	0.1554			-0.1084	0.9460	0.0705
$G_{10}$	-0.0875		0.0582	0.0189		-0.1084	0.9977	0.0709
$G_{11}$	-0.0812		0.0690			-0.1050	0.9949	0.0716
$G_{12}$		-0.1211	0.1129			-0.0896	0.9768	0.0739

利用上述株产量  $X_7$  回归模型与栽植密度  $X_8$  即可预测单位面积产量  $X_9$ , 但株产量又与多个因素尤其是株标准枝数  $X_6$  相关。为此, 根据以上通经和回归分析中各  $X_i$  与  $X_9$  的相关性和重要性评价, 重新选出预测  $X_9$  的因素组合, 其中包含主要因素株标准枝数  $X_6$  的组合 MG1 分别为  $\{X_6, X_8; X_9\}$ 、 $\{X_1, X_3, X_4, X_6, X_8; X_9\}$ 、 $\{X_2, X_3, X_4, X_6, X_8; X_9\}$ , 包含主要因素株产量  $X_7$  的组合 MG2 分别为  $\{X_7, X_8; X_9\}$ 、 $\{X_3, X_4, X_7, X_8; X_9\}$ 、 $\{X_1, X_3, X_4, X_7, X_8; X_9\}$ 、 $\{X_2, X_3, X_4, X_7, X_8; X_9\}$ , 无  $X_6$  和  $X_7$  的组合 MG3 为  $\{X_1, X_3, X_4, X_8; X_9\}$ 、 $\{X_2, X_3, X_4, X_8; X_9\}$ , 回归模型如表 11。

**Table 11.** Combination and the regression model of  $X_9$   
**表 11.** 各组合与  $X_9$  的回归模型

组合	各组合与 $X_9$ 的回归模型			
Combination	回归方程 regression equation (RE)	$R^2$	S	P
MG1-1	$X_9 = 2.8368X_6 + 4.4977X_8 - 198.0780$	0.8190	140.0497	1.0100E-07
MG1-2	$X_9 = -0.5860X_1 + 0.5033X_3 - 13.4722X_4 + 2.3546X_6 + 5.0670X_8 - 326.0750$	0.8222	146.7294	1.0100E-07
MG1-3	$X_9 = -14.4057X_2 + 0.7589X_3 + 8.6419X_4 + 2.6285X_6 + 5.9336X_8 - 405.4520$	0.8289	144.1477	6.6400E-06
MG2-1	$X_9 = 45.2437X_7 + 4.8047X_8 - 217.4920$	0.9702	59.1115	1.3800E-18
MG2-2	$X_9 = -0.1264X_3 + 0.2988X_4 + 46.9886X_7 + 4.7109X_8 - 177.9118$	0.9706	60.8811	2.7400E-16
MG2-3	$X_9 = -5.5547X_1 + 0.0581X_3 + 13.4617X_4 + 49.0713X_7 + 5.5905X_8 - 259.2874$	0.9737	58.7632	7.5877E-16
MG2-4	$X_9 = -14.5938X_2 + 0.2744X_3 + 26.9193X_4 + 48.4771X_7 + 5.7937X_8 - 305.3482$	0.9771	54.9037	7.5877E-16
MG3-1	$X_9 = 7.5678X_1 + 1.6155X_3 - 7.1035X_4 + 4.9706X_8 - 629.9217$	0.7850	156.6788	2.2565E-05
MG3-2	$X_9 = -2.0964X_2 + 2.0622X_3 + 15.3817X_4 + 6.4253X_8 - 797.9958$	0.7773	159.1157	3.3600E-05

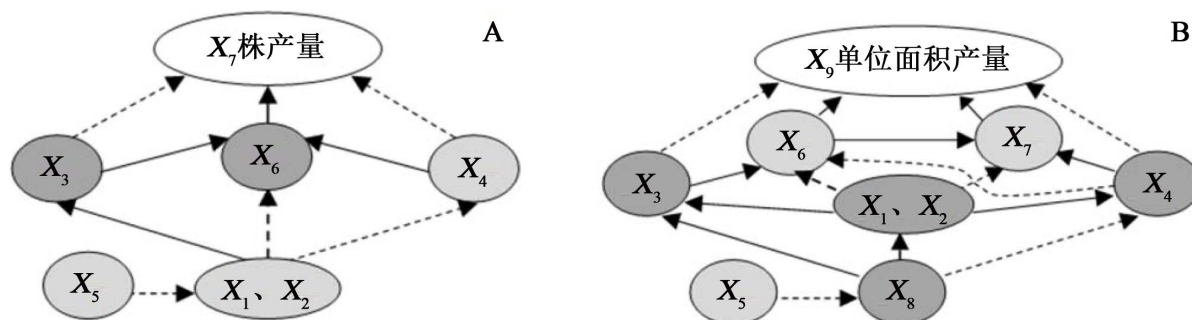
上述 3 组回归方程模型对  $X_9$  的预测结果与调查值差异均很小、 $P < 0.005$ , 但模型组 MG2 的  $R^2$  和 S 值明显优于其他两组, MG3 的  $R^2$  和 S 值相对较差。因此, 如果有株产量  $X_7$  的评估值, 使用 MG2-1 模型评估单位面积产量  $X_9$  较合适, 如要提高  $X_9$  的评估精度可选用 MG2-3 和 MG2-4 模型; 如果对  $X_9$  的评估

精度要求不高, 且有株标准枝数  $X_6$  调查值, 可选用 MG1-1 模型评估出  $X_9$ ; 如果缺少  $X_6$  和  $X_7$  调查数据, 只对  $X_9$  进行粗略估测, 使用 MG3-1 和 MG3-2 最为合适。此外, MG1~MG3 回归模型与表 9 中的模型相比较, MG2 模型的  $R^2$  值 > 表 9 中各模型 > MG1 > MG3, 但表 9 中各模型均同时含有因素  $X_6$  和  $X_7$ , 而获取  $X_6$  和  $X_7$  调查值的难度远大于因素  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_8$ 。

## 4. 讨论与结论

### 4.1. 讨论

树冠构成因素对产量的作用和影响与树种相关, 如板栗株结蓬数与单株产量关系最密切, 蓬数/果枝、单果重量、粒/蓬是影响板栗单株产量的关键性状[18] [19]。在本研究中, 株产量  $X_7$  与树龄  $X_1$ 、干径  $X_2$ 、冠幅  $X_3$ 、树高  $X_4$ 、株营养面积  $X_5$  和株标准枝数  $X_6$  关联性和密切程度不同(图 3(A))。其中, 涉及为树体提供营养的  $X_5$  或多或少对  $X_1$  和  $X_2$  施加影响( $X_1$  和  $X_2$  具有相互替代性);  $X_1$  (或  $X_2$ ) 在对  $X_7$  施加影响的过程中, 对  $X_3$  具有决定性作用, 同时又对  $X_6$  和  $X_4$  施加水平不同的影响;  $X_3$  既决定性对  $X_6$  施加了影响、又或多或少将其作用直接施加于  $X_7$ ,  $X_4$  对  $X_6$  施加的直接作用相对较低、并对  $X_7$  有一定的作用,  $X_6$  对  $X_7$  具有直接的、决定性影响。文献报道, 茶树树冠面积、叶片数、芽密度、百芽重是影响单株产量的重要因素[20], 增加分枝数、降低株高等可提高胡麻单株产量[21]。这表明, 虽然  $X_3$  和  $X_6$  是影响花椒产量的关键因素, 但这两个因素又与因素  $X_1$  (或  $X_2$ )、 $X_3$  和  $X_4$  的支撑水平有关, 还需进一步调查和研究  $X_3$  和  $X_6$  的调控水平与花椒株产量间的关系。



注: 实线箭头, 决定性作用 the solid arrow shows the decisive role; 虚线箭头, 次要及间接作用 the dotted arrow shows secondary and indirect effects; 深色圆, 强作用 dark circles show strong effects; 浅色圆, 较弱作用 light colored circles indicate a weaker effect;  $X_1$ , 树龄 tree age/a;  $X_2$ , 干径 near-ground stem diameter;  $X_3$ , 冠幅 crown width;  $X_4$ , 树高 tree height;  $X_5$ , 株营养面积 vegetative area of plant;  $X_6$ , 株标准枝数 plant standard branches number;  $X_7$ , 株产量 plant yield;  $X_8$ , 栽植密度 unit area plant;  $X_9$  单位面积产量 unit area yield。

Figure 3. Interaction relation of various factors on plant yield  $X_7$  and unit area yield  $X_9$

图 3. 各因素对株产量  $X_7$ 、单位面积产量  $X_9$  的互作关系

### 4.2. 结论

选择花椒树冠构成因素  $X_1$  树龄、 $X_2$  干径、 $X_3$  冠幅、 $X_4$  树高、 $X_5$  株营养面积、 $X_6$  株标准枝数, 采用通经和相关分析  $X_1$ ~ $X_6$  与  $X_7$  株产量的关系, 利用相关概率  $ZX_i$  和对  $R^2$  总贡献评价  $X_i$  对于  $X_7$  的重要性; 结果表明,  $X_1$  (或  $X_2$ )、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_6$  与  $X_7$  明显相关,  $X_6$  的重要性 >  $X_3$  >  $X_1$  和  $X_2$ , 但  $X_1$  和  $X_2$  有相互抵触作用,  $X_4$  对  $X_7$  的支撑作用较小,  $X_5$  可以舍弃, 但获取  $X_6$  值的调查难度较大。据此, 如对  $X_7$  精度要求不高, 可调查  $X_1$  (或  $X_2$ )、 $X_3$ 、 $X_4$ , 并用 Mp-1 或 Mp-2 模型评估出  $X_7$ ; 如对  $X_7$  精度要求较高, 可增加调查项  $X_6$ 、再用 Mp-3 或 Mp-4 模型评估出  $X_7$ 。

利用花椒树冠构成因素  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$  和栽植密度  $X_8$  调查值, 采用同样方法分析  $X_1$ ~ $X_8$

与单位面积产量  $X_9$  的关系, 评价  $X_i$  对于  $X_9$  的重要性。结果表明, 单位面积产量  $X_9$  对  $X_1$  (或  $X_2$ )、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_6$  和  $X_7$  的依赖作用明显,  $X_8$  是构成  $X_9$  的基础,  $X_1$  与  $X_2$  对于  $X_9$  作用相同、 $X_4$  的作用较小但难以舍弃,  $X_5$  可以舍弃。据此, 建立了可靠性和精度不同的  $X_9$  估测模型, 如果已获得株产量  $X_7$  值, 使用模型 MG2-1 估测  $X_9$  较合适; 包含因素  $X_1$  (或  $X_2$ )、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_7$ 、 $X_8$  的 MG2-3 或 MG2-4 模型, 可提高对  $X_9$  的评估预测精度; 如果仅有  $X_6$  和  $X_8$  调查值, 可用 MG1-1 模型评估出  $X_9$ , 但精确度不高; 如果要快速进行单位面积产量估测, 可调查  $X_1$  (或  $X_2$ )、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_8$ , 并用 MG3-1 和 MG3-2 模型评估出  $X_9$  值。

## 基金项目

陕西省科技厅科技统筹创新工程计划项目(2016KTTSNY03-02)资助。

## 参考文献

- [1] 刘学勤, 王加强, 桑芝法. 石灰岩山坡地花椒园效益初析[J]. 山西农业科学, 1990(12): 27-28.
- [2] 郑重. 改变种植习惯大力发展花椒产业[J]. 农村实用技术与信息, 2002(11): 54.
- [3] 徐思弘. 花椒巧种效益更高[J]. 农村百事通, 2010(11): 15.
- [4] 罗广元, 李鸿杰, 杨斌. 西北山地花椒——农作物复合种植的生态经济效益研究[J]. 中国水土保持, 2017(4): 31-34.
- [5] 圣长生. 科学修剪花椒树是提高产量的有效措施[J]. 河南林业科技, 1984(8): 29-30.
- [6] 邓伟, 李辉秀, 高玉锦, 等. 不同修剪留枝比例对顶坛花椒产量的影响[J]. 现代农业科技, 2012(3): 168-172.
- [7] 杨建雷, 杨双奎, 张晓军, 等. 花椒低产园放任树修剪技术研究[J]. 现代农业科技, 2014(17): 96-97.
- [8] 孟庆翠, 刘淑明, 孙丙寅. 配方施肥对花椒产量的影响[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(3): 105-108.
- [9] 刘一文. 温州蜜柑树冠主要性状相关性的通径分析[J]. 浙江柑桔, 1987(3): 9-11.
- [10] 黄守强. 柑橘产量与相关性状的通径分析[J]. 内蒙古林业调查设计, 2014(4): 114-115, 132.
- [11] 欧毅, 郭爱民, 毛启才. 锦橙产量构成因素的通径分析[J]. 西南农业学报, 1993, 6(3): 85-90.
- [12] 王丹, 周海庭, 任少雄. 柚单株产量影响因素的相关分析[J]. 福建果树, 2001(1): 7-9.
- [13] 陈鹏, 何凤仁. 酥梨产量构成因素的通径分析[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 1989, 20(4): 65-70.
- [14] 魏钦平, 束怀瑞, 辛培刚. 苹果园群体结构对产量品质影响的通径分析与优化方案[J]. 园艺学报, 1993, 20(1): 33-37.
- [15] 邓伟, 李辉秀, 高玉锦. 不同修剪留枝比例对顶坛花椒产量的影响[J]. 现代农业科技, 2012(3): 168, 172.
- [16] 张丽丽, 耿立格, 孙娟. 基于 R 语言的亚麻种质资源农艺性状相关及聚类分析[J]. 农学学报, 2020, 10(1): 7-12.
- [17] 林志伦. 基于 R 语言的一元线性回归模型在经济变量间的应用[J]. 济源职业技术学院学报, 2018, 17(2): 47-52.
- [18] 王广鹏, 刘庆香, 孔德军. 板栗主要园艺性状与单株产量的通径分析[J]. 河北农业科学, 2004, 8(3): 60-62.
- [19] 王广鹏, 孔德军, 刘庆香. 板栗单株产量的主要影响因素相关分析及通径分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1281, 1304.
- [20] 黄飞毅, 段继华, 雷雨. 实生茶树产量性状的相关性和通径分析[J]. 茶叶学报, 2017, 58(1): 17-20.
- [21] 舒志明, 赵崇耀. 胡麻品种产量构成因素的相关和通径分析[J]. 山西农业科学, 1999(5): 19-20.