

基于通径分析的枣树发芽率影响因子研究

南 娟¹, 汪有科^{1,2}, 李晓彬^{2,3}, 马 婧¹

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部水土保持研究所节水中心, 陕西 杨凌 712100;

3. 中国科学院 教育部水土保持与生态环境研究中心, 北京 100049)

摘 要: 发芽率是枣树萌芽展叶期的一个主要指标。该试验调查显示, 发芽率最高是干旱阳坡为 93.75%, 最低是灌溉阴坡为 0。各因素对发芽率的影响程度大小是不同的, 经通径分析得出各因素直接作用的顺序为: 土壤水分 > 不确定性因子 > 坡向 > 坡度 > 高程。土壤水分及不确定性因子如交错带等对枣树发芽率的直接作用最大, 即影响程度最大, 高程、坡向及坡度是通过土壤水分及不确定因素间接影响枣树发芽率。而决策系数的大小为: 土壤水分 > 不确定性因子 > 高程 > 坡度 > 坡向。为了解决简单相关性的局限性, 该试验将通径分析应用于数据分析中, 更能全面的研究各个因素之间的关系及对发芽率的影响。

关键词: 枣树; 通径分析; 发芽率; 影响因子

中图分类号: S 665.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)20-0010-04

枣树是我国的干果树种之一, 萌芽展叶阶段是枣树生长的一个重要阶段。枣树为喜温树种, 生长期要求温度相对较高, 萌芽期一般比大多数北方落叶果树晚。春季气温一般在 13~15℃时开始萌芽, 17~18℃时开始抽枝, 花粉发芽温度为 24~26℃, 低于 20℃或高于 36℃时发芽率很低^[9]。

影响发芽率的因素很多, 为了提高枣树的发芽率, 必须掌握各因素之间的相互关系及对发芽率的影响程度。而简单相关性不能全面反映各因素之间的关系, 为了更全面的确定各因素之间的关系, 该试验将通径分析应用于枣树发芽率的调查中。通径系数分析法即通径分析, 1992 年 Sewall Wright 首次提出通径系数(Path coefficient)分析方法, 克服了简单相关分析与回归分析的不足, 能够反映各自变量和因变量的关系, 由于通径系数是变量标准化的偏回归系数, 因素对结果的效应能直接进行比较, 同时, 通径系数还能区分原因对结果的直接作用和间接作用, 能全面地反映原因对结果的相对重要性^[3]。

1 材料与方法

1.1 试验地的概况

第一作者简介: 南娟(1983-), 女, 在读硕士, 研究方向为节水灌溉理论与新技术。E-mail: nanjuan83@126.com。

通讯作者: 汪有科(1956-), 男, 研究员, 博士生导师, 现主要从事水土资源高效利用研究工作。E-mail: gjzwk@vip.sina.com。

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2007BAD88B05)。

收稿日期: 2010-07-22

试验地位于陕西省榆林市米脂县孟岔村山地微灌枣树示范基地。米脂县位于陕西省北部, 榆林市中部偏东, 地处东经 109°49'~110°29', 北纬 37°39'~38°5', 东西最大距离 59 km, 南北长 47 km, 总面积 1 212 km²。该地区属无定河中游, 为典型的黄土高原丘陵沟壑区, 沟道浅而宽, 梁峁起伏较大, 土壤风蚀沙化明显, 植被稀少, 水土流失严重。该区属中温带半干旱性气候, 全年雨量不足, 气候干燥, 冬长夏短, 四季分明, 春季多风。昼夜温差大, 日照充沛, 适宜果树生长。年平均气温 8.5℃, 极端最高气温 38.2℃, 极端最低气温 -25.5℃, 无霜期 162 d, 年平均降雨量 451.6 mm, 主要集中在 7~9 月, 是红枣的成熟期, 最大年降雨量 704.8 mm, 最小年降雨量 186.1 mm^[4,7]。

1.2 通径分析原理与方法^[1]

为了研究自变量与因变量的相互关系, 目前已提出较多的分析方法, 如通径分析, 该方法不仅能测定 2 个变量之间的关系, 而且还能给出因素对结果的重要性, 并可将相关系数分解为直接作用和间接作用, 揭示各个因素对结果的相对重要性。

对于一个相互关联的系统, 有一个因变量 y 与 x 个自变量($i=1, 2, \dots, n$)间存在线性关系, 回归方程为:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n \quad (1),$$

将实际观测值代入(1)式, 并用最小二乘法原理解方程组, 即可以求得通径系数 p_{yx_i} 。通径系数是变量标准化的偏回归系数, 表示各原因对结果的相对重要性。

式(1)通过数学变换, 可建立正规矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} 1 & r_{x_1x_2} & \cdots & r_{x_1x_n} \\ r_{x_2x_1} & 1 & \cdots & r_{x_2x_n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{x_nx_1} & r_{x_nx_2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{yx_1} \\ p_{yx_2} \\ \cdots \\ p_{yx_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{x_1y} \\ r_{x_2y} \\ \cdots \\ r_{x_ny} \end{bmatrix} \quad (2),$$

式中, $r_{x_ix_j}$ 为 x_i 和 x_j 的简单相关系数, r_{x_iy} 为 x_i 和 y 的简单相关系数。解方程(2)即可求得通径系数 p_{yx_i} 。 p_{yx_i} 即为:

$$p_{yx_i} = b_i \sigma_{x_i} / \sigma_y \quad (i=1, 2, \cdots, n) \quad (3),$$

式中, b_i 即为 y 对 x_i 的偏回归系数, σ_{x_i} 、 σ_y 分别为 x_i 和 y 的标准差。 p_{yx_i} 表示 x_i 对 y 的直接通径系数, 用 $r_{x_ix_j} p_{yx_j}$ 表示 x_i 通过 x_j 对 y 的间接通径系数。而剩余项的通径系数 p_{ye} , 表示为:

$$p_{ye} = \sqrt{1 - (r_{x_1y} p_{yx_1} + r_{x_2y} p_{yx_2} + \cdots + r_{x_ny} p_{yx_n})},$$

若 p_{ye} 数值较大, 就表明误差较大或还有其它更重要的因素没有考虑在内。

1.3 试验设计

于 2010 年 5 月在米脂县孟岔村山地微灌枣树示范基地对多年生的梨枣树发芽率进行随机调查。其中调查的影响因素包括坡度(x_1)、坡向、(x_2)土壤水分(x_3)、不确定因子(x_4)及高程(x_5), 如表 1 所示。试验运用 SPSS 软件、Excel 软件、通径分析及 CAD 进行数据统计及绘图。发芽率 = 已发芽枣树棵数/枣树总棵数 $\times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 枣园发芽率的随机调查

表 1 为 2010 年 5 月 28 日孟岔示范园枣树发芽率的调查情况。影响因素不同, 发芽率也不同。阳坡旱作的发芽率最高为 93.75%, 阴坡灌溉的发芽率最低为 0。坡度及坡向影响太阳辐射强度, 而土壤水分影响根系的生长、吸收及土壤温度, 并且温度越高, 萌芽开花越早^[9]。阳坡旱作的土壤温度高于阴坡灌溉的。而枣树发芽的早晚与开花结果期成正比, 发芽早的枣树可提前进入成熟期, 减少裂果等现象。

2.2 枣树发芽率与各因素的通径分析

将调查的原始数据进行标准化, 再利用 SPSS 进行线性回归及相关性分析, 结果见表 2~4。表 2 是发芽率及各因素数据的标准化, 经过数据标准化后, 各因素之间因数值大小和变化幅度不同而产生的不具有分类意义的差异就不复存在了。表 3 是各因素的线性回归系数, 土壤水分、不确定性因子、高程的 P 值均小于 0.05, 说明相关性显著。各因素及各因素与发芽率之间的正负相关见表 4。

表 1 2010 年 5 月 28 日枣园发芽率的调查
Table 1 The survey of germination rate on Jujube Orchard in 2010. 5. 28

坡向 Aspect	坡度 Gradient	土壤水分 Soil moisture	不确定性因子 Uncertainty factor	高程 Elevation	发芽率 Germination rate/%
阴坡	30	灌溉	道路	5	15
阴坡	30	灌溉	道路	15	25
阳坡	15	灌溉	枣园	25	16.25
阴坡	30	灌溉	枣园	5	0
阴坡	30	灌溉	道路	0	23.75
阳坡	0	灌溉	草枣交错	25	43.75
阳坡	0	灌溉	旱灌交错(坡谷线)	5	81.25
阳坡	0	旱作	草枣间作	5	93.75
阳坡	0	灌溉	枣园	5	7.5
阴坡	10	灌溉	枣园	10	45
阴坡	20	灌溉	枣园	0	52.5
阳坡	45	旱作	枣园	0	1
阳坡	35	灌溉	枣园	-30	71.66
阳坡	35	灌溉	枣园	-30	42.85
阳坡	0	灌溉	枣园	-25	62.85
阴坡	0	灌溉	枣园	-25	72
阳坡	30	灌溉	枣园	-15	21.11
阳坡	30	灌溉	枣园	0	20.87
阳坡	35	灌溉	坡谷线	0	65
阳坡	30	灌溉	枣园	10	8.6
阳坡	30	灌溉	枣园	10	55.93
阴坡	25	灌溉	枣杏交错	0	64.28
阳坡	0	灌溉	道路	0	40

表 2 枣树发芽率及各因素数据的标准化
Table 2 The standardization of the data of the germination rate and factors

坡向 Aspect	坡度 Gradient	土壤水分 Soil moisture	不确定性因子 Uncertainty factor	高程 Elevation	发芽率 Germination rate/%
1.339208	0.660033	-0.30182	-0.94584	0.340216	-1.04174
1.339208	0.660033	-0.30182	-0.94584	0.992298	-0.69147
-0.71424	-0.33002	-0.30182	-0.30601	1.644379	-0.99795
1.339208	0.660033	-0.30182	-0.30601	0.340216	-1.56714
1.339208	0.660033	-0.30182	-0.94584	0.014176	-0.73525
-0.71424	-1.32007	-0.30182	0.333825	1.644379	-0.03472
-0.71424	-1.32007	-0.30182	0.973658	0.340216	1.27878
-0.71424	-1.32007	3.169145	1.61349	0.340216	1.71661
-0.71424	-1.32007	-0.30182	-0.30601	0.340216	-1.30444
1.339208	-0.66003	-0.30182	-0.30601	0.666257	0.00906
1.339208	0	-0.30182	-0.30601	0.014176	0.27176
-0.71424	1.650083	3.169145	-0.30601	0.014176	1.93553
-0.71424	0.99005	-0.30182	-0.30601	-1.94207	0.94322
-0.71424	0.99005	-0.30182	-0.30601	-1.94207	-0.0659
-0.71424	-1.32007	-0.30182	-0.30601	-1.61603	0.63464
1.339208	-1.32007	-0.30182	-0.30601	-1.61603	0.95478
-0.71424	0.660033	-0.30182	-0.30601	-0.96395	-0.82772
-0.71424	0.660033	-0.30182	-0.30601	0.014176	-0.83578
-0.71424	0.99005	-0.30182	2.253322	0.014176	0.70959
-0.71424	0.660033	-0.30182	-0.30601	0.666257	-1.26241
-0.71424	0.660033	-0.30182	-0.30601	0.666257	0.3919
1.339208	0.330017	-0.30182	2.893154	0.014176	0.68472
-0.71424	-1.32007	-0.30182	-0.94584	0.014176	-0.16607
1	1	1	1	1	1

表3 各因素的线性回归系数

Table 3 The linear regression coefficient of factors

	Coefficients	标准误差 Standard error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	1.04726E-15	0.144365	7.25E-15	1	-0.30458	0.304583
坡向 Gradient	0.007691301	0.153445	0.050124	0.960608	-0.31605	0.331432
坡度 Aspect	-0.182345734	0.150622	-1.21062	0.242604	-0.50013	0.135438
土壤水分 Soil moisture	0.530148058	0.155329	3.413063	0.003313	0.202432	0.857864
不确定性因子 Uncertainty factor	0.381034044	0.151993	2.506912	0.022625	0.060356	0.701712
高程 Elevation	-0.381282075	0.149941	-2.54288	0.021015	-0.69763	-0.06493

表4 发芽率与各因素及各因素之间相关系数

Table 4 Correlation coefficient between factors and germination rate

	坡向 Aspect	坡度 Gradient	土壤水分 Soil moisture	不确定性因子 Uncertainty factor	高程 Elevation	发芽率 Germination
坡度 Gradient	1					
坡向 Aspect	0.09241	1				
不确定性因子 Uncertainty factor	-0.22537	0.052067	1			
土壤水分 Soil moisture	-0.10906	-0.08638	0.206283	1		
高程 Elevation	0.07145	-0.12227	0.055913	0.061429	1	
发芽率 Germination	-0.19744	-0.14033	0.576203	0.481885	-0.30539	1

表5 各因素对发芽率影响的途径分析

Table 5 The path analysis result of the impact of factors on germination rate

通径 Path	x_j 对 y 的直接作用 Direct effect of x_j on y	x_j 通过 x_k 对 y 的间接作用 Indirect effect of x_j on y through x_k	间接作用总和 Indirect effect sum	x_j 对 y 的总作用 sum effect of x_j on y	决策系数 Decision making coefficient
x_1 对 y	0.008	$x_1 \leftrightarrow x_2 \leftrightarrow y$ -0.017 $x_1 \leftrightarrow x_3 \rightarrow y$ -0.119 $x_1 \leftrightarrow x_4 \rightarrow y$ -0.042 $x_1 \leftrightarrow x_3 \rightarrow y$ -0.119 $x_1 \leftrightarrow x_4 \rightarrow y$ -0.042 $x_1 \leftrightarrow x_5 \rightarrow y$ -0.027	-0.205	-0.197	-0.003
x_2 对 y	-0.182	$x_2 \leftrightarrow x_1 \rightarrow y$ 0.0010 $x_2 \leftrightarrow x_3 \rightarrow y$ 0.0280 $x_2 \leftrightarrow x_4 \rightarrow y$ -0.033 $x_2 \leftrightarrow x_5 \rightarrow y$ 0.0470	0.042	-0.140	0.018
x_3 对 y	0.530	$x_3 \leftrightarrow x_1 \rightarrow y$ -0.002 $x_3 \leftrightarrow x_2 \rightarrow y$ -0.009 $x_3 \leftrightarrow x_4 \rightarrow y$ 0.0790 $x_3 \leftrightarrow x_5 \rightarrow y$ -0.021	0.046	0.576	0.33
x_4 对 y	0.381	$x_4 \leftrightarrow x_1 \rightarrow y$ -0.001 $x_4 \leftrightarrow x_2 \rightarrow y$ 0.0160 $x_4 \leftrightarrow x_3 \rightarrow y$ 0.1090 $x_4 \leftrightarrow x_5 \rightarrow y$ -0.023	0.101	0.482	0.222
x_5 对 y	-0.381	$x_5 \leftrightarrow x_1 \rightarrow y$ 0.001 $x_5 \leftrightarrow x_2 \rightarrow y$ 0.0220 $x_5 \leftrightarrow x_3 \rightarrow y$ 0.030 $x_5 \leftrightarrow x_4 \rightarrow y$ 0.0230	0.076	-0.305	0.088
ϵ	0.139			0.139	0.0193

萌芽展叶期是枣树整个生长期的重要阶段,该阶段受诸多因素的影响,其中土壤水分(影响土壤温度)是一项影响发芽率的主要因素。该试验是在随机小区进行枣树发芽率的调查,各个因素对其的影响程度大小不一,明确各个因素对枣树发芽率的影响程度大小,对于确保枣树发芽至关重要。由于各因素间存在着一定的相关性,运用通径分析法确定出对枣树发芽率影响显著的因子,坡向、坡度、土壤水分、不确定因子、高程分别用

x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 来表示,图1为发芽率与各因素间的途径图。通过对 x_j 对 y 的关于通径系数的正规方程的求解,来计算原因对于结果的直接作用、间接作用以及 x_j 对 y 的决策系数,结果见表5。从表5可看出,直接作用的大小顺序为: $x_3 > x_4 > x_1 > x_2 > x_5$ 。 x_3 与 x_4 之间的相互影响跟彼此的直接作用比较起来相对较小。所以,土壤水分跟不确定因子(如交错带等)是影响枣树发芽率的主要因素,而高度跟坡度对其有抑制作用。按决策

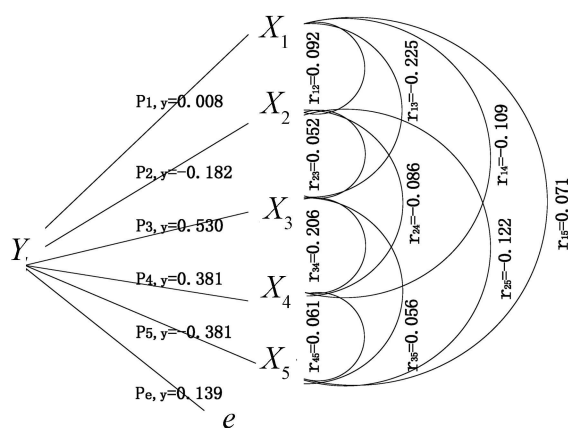


图1 发芽率与各因素之间的通路图

Fig. 1 Relationships between germination rate and factors

系数排序为: $x_3 > x_4 > x_5 > x_2 > x_1$ 且 $x_1 < 0$ 。故 x_3 为主要决策变量^[3], 其原因是它通过 x_1 、 x_2 及 x_5 对 x 起抑制作用, 而 x_1 的决策系数最小, 为主要限制性变量^[3], 因为它通过其它变量的间接作用均为负。剩余项的通路系数为 0.139, 说明影响枣树发芽的因素考虑的比较全面。

2.3 枣树发芽率与坐果率的关系

相对往年来说, 试验当年 6 月份降雨较多, 为 51.2 mm, 再加上前期温度较低, 而高温期又没有推迟, 发芽率早的枣树其坐果率稍微高一些, 坐果率为 3%, 而最低的为 0.6%, 较最高的低 80%。同样, 发芽率早的坐果较早, 也可以提前进入枣的成熟期, 缓解当地农民最近几年的裂果问题。

3 结论与讨论

调查结果显示, 发芽率最高是干旱阳坡为 93.75%, 最低是灌溉阴坡为 0。各个因素对枣树发芽率的影响程度大小是不同的, 其大小顺序为: 土壤水分 > 不确定性因子 > 坡向 > 坡度 > 高程。土壤水分及不确定性因子如交错带等对枣树发芽率的直接作用最大, 即影响程度最大, 高程及坡度是通过土壤水分及不确定因素间接影响枣树发芽率的。而决策系数的大小为: 土壤水分 > 不确定性因子 > 高程 > 坡度 > 坡向, 土壤水分为主要决策变量, 坡向为主要限制性变量。而枣树发芽的早晚与开花结果期成正比, 发芽早的枣树可提前进入成熟期, 减少裂果等现象。利用通路系数分析法更能全面反映各个因素之间及对发芽率的关系, 但是该方面的研究不多, 有待更进一步的推进。

参考文献

- [1] 刘广明, 杨劲松, 姚荣江. 基于磁感式探测的分层土壤盐分精确解释模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 61-66.
- [2] 蔡甲冰, 刘钰, 许迪, 等. 基于通径分析原理的冬小麦缺水诊断指标敏感性分析[J]. 水利学报, 2008, 39(1): 83-89.
- [3] 袁志发, 周静芋, 郭满才, 等. 决策系数一通径分析中的决策指标[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(5): 133-135.
- [4] 李新岗, 黄建, 宋世德, 等. 影响陕北红枣产量和品质的因子分析[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(4): 38-42.
- [5] 中国科学院. 生物数学[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 76-83.
- [6] 于继洲, 秦国新, 杜芳. 枣树建园技术[J]. 山西果树, 2004(4): 19-21.
- [7] 高均利. 榆林市红枣产业发展途径研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.

Study on Factors of Jujube Germination Rate Based on Path Anlysis

NAN Juan¹, WANG You-ke^{1,2}, LI Xiao-bin^{2,3}, MA Jing¹

(1. Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaaxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaaxi 712100; 3. Soil and Water Conservation and Ecological Environment Research Center, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Education, Beijing 100049)

Abstract: The germination rate is a mainly index in the jujube sprout leaves period. It was repored that the highest germination rate was drought in sunny, it was 93.75%, the lowest was irrigation in cloudy, it was 0. Various factors had different influence on the germination rate, and by path analysis. The order of direct impacts on the germination rate was soil moisture > uncertainty factors > slope gradient > elevation > slope aspect. Soil moisture and uncertainty factors (such as soon crisscross of germination) were the main factors that showed impacts on the rate of germination, and others factors showed indirect impacts on the germination rate. And the sequence of decision coeffiendce: soil moisture > uncertainty factors > elevation > slope aspect > slope gradient. In order to solve the limitations of simple correlation, the path analysis, in this paper, will be applied in the analysis of dates.

Key words: Jujube; path analysis; germination rate; factors