

doi:10.13866/j.azr.2016.01.13

通径分析在 SPSS 逐步线性回归中的实现^①

宋小园, 朱仲元, 刘艳伟, 赵宏瑾

(内蒙古农业大学水建院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要: 运用 SPSS 17 对充分供水状态下老芒麦的蒸腾速率 ($Evap$)、净光合速率 (P_n) 与环境因子中的光合有效辐射 (PAR)、空气中的 CO_2 浓度 ($AirCO_2$)、空气湿度 (RH)、大气温度 (AT)、叶面温度 (LP)、胞间 CO_2 浓度 (C_{int}) 的关系进行逐步回归分析和通径分析, 计算环境因子对蒸腾速率、净光合速率的决策系数。在通径分析前对蒸腾速率、净光合速率进行正态分布检验, 对分析结果进行显著性检验, 直至回归方程中各变量均达到显著水平。运用相关、偏相关等, 从不同角度研究环境因子与老芒麦蒸腾速率、净光合速率的相关性。结果表明: 胞间 CO_2 浓度、大气温度、空气湿度对净光合速率起抑制作用, 胞间 CO_2 浓度、空气湿度对蒸腾速率起促进作用。

关键词: 老芒麦; 光合作用; 蒸腾速率; 环境因子; 逐步回归分析; 通径分析; 决策系数

通径分析是数量遗传学家 Sewall Wright 于 1921 年提出的一种多元统计技术, 通过对自变量与因变量之间的表面直接相关性分解, 来研究自变量对因变量的直接重要性和间接重要性, 从而为统计决策提供可靠的依据, 在众多领域得到广泛应用^[1-6]。但由于分解相关系数的通径分析技术计算量比较大, 很多计算手工难以实现, 计算结果不够精确。通径分析过程可通过 SAS、DPS 等专业统计软件实现, 但一些软件处理需进行复杂编程, 目前, 以 Excel 和 SPSS 运用最为广泛^[7-12]。

光合作用和蒸腾作用是植物最重要的生理活动, 它们与环境因子中的光照、温度和湿度的关系密切, 同时, 光合作用还是植物产量构成的主要因素, 研究光合作用、蒸腾作用与环境因素的关系, 有助于增强植物的光合能力, 从而达到提高产量的目的^[13-16]。国内外对植物的蒸腾光合作用及其与环境因子的关系已进行了大量研究, 宫璇等^[6]研究了 4 个椰子品种的光合、蒸腾作用日变化特征及影响因素; 罗永忠等^[5]研究了水分胁迫对紫花苜蓿叶水势、蒸腾速率和气孔导度的影响; 赵鸿等^[10]研究了半干旱雨养区小麦光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征; 茫来等^[9]研究了黄花苜蓿光合蒸腾日变化特征及其与环境因子的关系, 研究方法多为相关、偏相关、回归分析。邹学校等^[7]运用灰色关联度和

通径分析研究了环境因子对辣椒光合与蒸腾特性的影响; 但目前在软件实现方法上, 对于回归分析往往缺乏显著性检验, 通径分析一方面缺乏必要的正态性检验, 另一方面通径系数及间接相关系数计算步骤过于繁琐。本文详细介绍了 SPSS 17.0 在通径分析中的实现过程, 以期对处理各种有关通径分析的资料提供参考^[17-22]。

1 试验区概况

试验区位于内蒙古正蓝旗恒洲域境内, 自然状况见表 1。

表 1 试验区自然概况
Tab. 1 Natural conditions of test site

自然概况	纬度 (N)	高程 /m	平均气 温/℃	平均 降雨量 /mm	平均 蒸发量 /mm	平均气 压/hPa
指标值	42°16′	1 319	3.5	305.6	1 954.2	0.87

2 材料与方法

试验材料为多年生人工牧草老芒麦, 进行充分供水 (土壤含水率维持在田间持水率的 85% 以上)。试验区土壤质地为中壤土, 1.2 m 土层的平均田间持水率为 26%, 凋萎含水量为 8%, 地下水埋深

① 收稿日期: 2014-03-04; 修订日期: 2014-04-15

基金项目: 国家自然科学基金 (50769005, 51149006); 内蒙古自治区自然科学基金 (2013MS0607) 资助

作者简介: 宋小园 (1986-), 女, 博士研究生, 主要从事干旱区草原天然植被耗水要求方面的研究. E-mail: yuanxiaosong123@126.com

通讯作者: 朱仲元. E-mail: nmzzy@tom.com

7.0 m。用安装在试验场 2 m 高处 AZW-001 自动气象站观测地表温度、降水量、大气压强、太阳总辐射、光合有效辐射、大气温度、空气相对湿度、地表温度及土壤热通量、蒸发量等参数。TPS-1 便携式光合系统仪对净光合速率、蒸腾速率及大气温度、叶面温度、空气中的 CO_2 浓度、胞间 CO_2 浓度等进行测定。测定从 8:00—17:00 每隔 1 h 测定 1 次,每次取 3 片叶子进行测定,每片叶子重复测量 3 次,结果取平均值。用 TDR (土壤水分测定仪) 每 3 d 测量 1 次根系层的土壤含水量,降雨、灌溉后加测,观测深度为 1.6 m。

3 充分供水状态下蒸腾速率、净光合速率与环境因子的通径分析

3.1 数据录入

选择自变量 (空气中的 CO_2 浓度、光合有效辐射、大气温度、叶面温度、胞间 CO_2 浓度和空气湿度) 和因变量 (净光合速率和蒸腾速率) 分别导入 SPSS 中的数据视图,数据整理结果见表 2。

表 2 原有数据
Tab. 2 Original data

AirCO ₂	PAR	AT	LP	Cint	RH	P _n	Evap
409.24	66.50	16.90	16.57	397.40	17.38	2.95	1.18
373.10	87.25	23.79	22.83	353.10	19.96	4.31	3.38
362.28	170.33	29.73	28.23	301.20	23.07	14.69	5.60
351.71	1535.42	30.25	29.99	269.70	20.75	16.69	6.73
361.93	1684.50	31.68	31.56	257.10	20.33	16.53	6.72
352.72	265.75	33.86	32.28	263.00	20.26	11.39	6.28
357.78	669.08	33.87	33.03	292.70	22.52	6.00	5.26
362.06	268.25	31.46	30.48	334.00	21.95	1.88	4.23
402.64	14.33	26.23	25.54	401.70	23.71	-0.78	2.18

AirCO₂ 表示空气中的 CO_2 浓度;PAR 表示光合有效辐射;AT 表示大气温度;LP 表示叶面温度;Cint 表示胞间 CO_2 浓度;RH 表示空气湿度;P_n 表示净光合速率;Evap 表示蒸腾速率。下同。

3.2 对净光合速率、蒸腾速率进行正态性检验

选择分析-描述统计-探索-绘制 (正态图检验),对蒸腾速率、净光合速率进行正态检验,输出结果见表 3。

本测验中 $n=9$,为小项目样本,选择 S-W 测试结果对 $Evap$ 、 P_n 进行检验。充分供水状态下的 $Evap$ 、 P_n 统计量分别为 0.913 和 0.899,显著水平 P 在 2 种状态下分别为 0.338、0.245 且大于 0.05,因变量的分布接近正态分布。对充分供水状态下蒸腾

表 3 正态性检验输出结果

Tab. 3 The normal test output

土壤水分条件	项目	K-S			S-W		
		统计量	df	P	统计量	df	P
充分供水 (PB)	Evap	0.181	9	0.200 [*]	0.913	9	0.338
	P _n	0.183	9	0.200 [*]	0.899	9	0.245

K-S 表示 Kolmogorov-Smirnov (a) 非参数检验;S-W 表示 Shapiro-Wilk 检验。* 表示 0.05 水平下显著,** 表示 0.001 水平下显著。下同。

速率、净光合速率与环境因子的关系进行逐步回归分析。

3.3 净光合速率、蒸腾速率与环境因子关系的逐步回归分析

选择分析-回归-线性命令,将 P_n 选入因变量,AirCO₂、PAR、RH、AT、LP、Cint 等选入自变量,指定方法 (逐步),点击确定,系统开始进行统计分析,输出结果见表 4~6。

表 4 模型汇总

Tab. 4 Model summary

模型	R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差
1	0.852 ^a	0.726	0.687	3.761
2	0.930 ^b	0.865	0.820	2.856
3	0.985 ^c	0.969	0.951	1.491

a 为预测变量 (常量),Cint; b 为预测变量 (常量),Cint,AT; c 为预测变量 (常量),Cint,AT,RH。

表 5 系数 a

Tab. 5 The coefficient of a

模型		非标准化系数		标准系数	t	P
		B	标准误差	试用版		
1	常量	41.027	7.721		5.314	0.001
	Cint	-0.103	0.024	-0.852	-4.311	0.004
2	常量	81.710	17.435		4.687	0.003
	Cint	-0.163	0.030	-1.347	-5.393	0.002
	RH	-0.755	0.305	0.619	-2.478	0.048
3	常量	90.424	9.341		9.680	0.000
	Cint	-0.236	0.024	-1.953	-9.945	0.000
	AT	-1.747	0.288	-1.430	-6.062	0.002
	RH	2.039	0.494	0.587	4.127	0.009

a 为因变量 P_n ; B 为 Betain 的缩写,代表回归系数;t 为对回归系数的显著性检验;P 为 0.05 的显著性水平。

从表 4 可以看出,随着自变量被逐步引入回归方程,回归方程的相关系数 R 和决策系数 R^2 逐步增大。说明引入的自变量对 P_n 的作用在增加。模型 3 的相关系数 R 和决策系数 R^2 分别为 0.985、0.969,剩余因子 $e = \sqrt{1 - R^2}$,该值较小,说明对 P_n

的作用有影响的自变量考虑较全面。故充分供水状态下净光合速率与各因子的线性回归方程为:

$$P_n = 90.424 - 0.236Cint + 2.039RH - 1.747AT$$

表 6 已排除的变量 d Tab. 6 Eliminated variable of d

模型	Betain	t	P	偏相关	共线性统计量容差
1 AirCO ₂	0.639 ^a	1.423	0.205	0.502	0.169
PAR	0.250 ^a	0.882	0.411	0.339	0.505
AT	-0.619 ^a	1.186	0.280	0.436	0.362
LP	-0.627 ^a	1.225	0.267	0.447	0.343
RH	-0.132 ^a	2.757	0.033	0.748	0.995
2 AirCO ₂	-0.032 ^b	-0.217	0.837	-0.097	0.141
PAR	0.077 ^b	1.060	0.337	0.428	0.485
LP	-0.193 ^b	-1.330	0.241	-0.511	0.110
RH	-0.164 ^b	-1.093	0.324	-0.439	0.112
3 AirCO ₂	0.247 ^c	1.165	0.309	0.503	0.128
PAR	0.039 ^c	0.300	0.779	0.148	0.449
LP	0.207 ^c	0.209	0.845	0.104	0.008

a 为预测变量 (常量), Cint; b 为预测变量 (常量), Cint, AT; c 为预测变量 (常量), Cint, AT, RH; d 为因变量 P_n ; Betain 为回归系数; t 为对回归系数的显著性检验; P 为 0.05 的显著性水平。

从显著性检验结果来看, Cint、RH、AT 的显著性均小于 0.05, 自变量与因变量之间差异显著, 有统计学意义, 应留在方程中。

同理, 对 $Evap$ 与 AirCO₂、PAR、RH、AT、LP、Cint 等的关系进行逐步线性回归分析, 输出结果见下表 7~9。

从表 7 可以看出, 模型 2 的相关系数 R 和决策

表 7 模型汇总

Tab. 7 Model summary

模型	R	R^2	调整 R^2	标准估计的误差
1	0.982 ^a	0.965	0.959	0.406
2	0.992 ^b	0.984	0.979	0.291

a 为预测变量 (常量), Cint; b 为预测变量 (常量), Cint, RH。

表 8 系数 a Tab. 8 The coefficient of a

模型	非标准化系数		标准系数 试用版	t	P
	B	标准误差			
1 (常量)	15.953	0.833		19.156	0.000 1
Cint	-0.036	0.003	-0.982	-13.794	0.000 2
2 (常量)	12.735	1.311		9.713	0.000 1
Cint (X_1)	-0.035	0.002	-0.972	-18.979	0.000 2
RH (X_2)	0.147	0.053	0.141	2.757	0.033 0

因变量 $Evap$ 。B 为 Betain 的缩写, 代表回归系数; t 为对回归系数的显著性检验; P 为 0.05 的显著性水平。

表 9 已排除的变量 d Tab. 9 Eliminated variable of d

模型	Betain	t	P	偏相关	共线性统计量容差
1 AirCO ₂	-0.167 ^a	-0.957	0.376	-0.364	0.169
PAR	0.035 ^a	0.329	0.753	0.133	0.505
AT	0.137 ^a	1.186	0.280	0.436	0.362
LP	0.144 ^a	1.225	0.267	0.447	0.343
RH	0.141 ^a	2.757	0.033	0.748	0.995
2 AirCO ₂	-0.032 ^b	-0.217	0.837	-0.097	0.141
PAR	0.077 ^b	1.060	0.337	0.428	0.485
AT	-0.193 ^b	-1.330	0.241	-0.511	0.110
LP	-0.164 ^b	-1.093	0.324	-0.439	0.112

a 为模型中的预测变量 (常量), Cint; b 为模型中的预测变量 (常量), Cint, RH; c 为因变量 $Evap$ 。Betain 为回归系数; t 为对回归系数的显著性检验; P 为 0.05 的显著性水平。

系数 R^2 分别为 0.992 和 0.984, 剩余因子 $e = \sqrt{1 - R^2}$ 较小, 模型 2 对 $Evap$ 的作用有影响的自变量考虑最全面, 与数据的拟合度最好。因此, 充分供水状态下蒸腾速率与各因子的线性回归方程为:

$$Evap = 12.735 - 0.035Cint + 0.147RH$$

Cint、RH 的显著性检验结果均小于 0.05, 自变量与因变量之间差异显著, 有统计学意义。

3.4 蒸腾速率、净光合速率与环境因子关系的间接途径系数计算

由表 10 可知, Cint (X_1)、AT (X_2) 与 RH (X_3) 的相关系数分别为: $r_{12} = r_{21} = -0.799$, $r_{13} = r_{31} = -0.072$, $r_{23} = r_{32} = 0.558$; 由表 5 可知, 途径系数 (直接作用) 分别为: $p_{1y} = -1.953$, $p_{2y} = -1.43$, $p_{3y} = 0.587$ 。

简单相关系数 (r_{ij}) = X_i 与 y 的直接途径系数 (p_{iy}) + 所有 X_i 与 y 的间接途径系数 (1)

X_i 与 y 的间接途径系数 = 相关系数 (r_{ij}) × 途径系数 (p_{jy}) (2)

可以算出:

$$r_{1y} = p_{1y} + r_{12} \times p_{2y} + r_{13} \times p_{3y} = -1.953 + (-0.799) \times (-1.430) + (-0.072) \times 0.587 = -0.852$$

$$r_{2y} = p_{2y} + r_{21} \times p_{1y} + r_{23} \times p_{3y} = -1.430 + (-0.799) \times (-1.953) + 0.558 \times 0.587 = 0.457$$

$$r_{3y} = p_{3y} + r_{31} \times p_{1y} + r_{32} \times p_{2y} = 0.587 + (-0.072) \times (-1.953) + 0.558 \times (-1.430) = -0.070$$

r_{1y} 、 r_{2y} 、 r_{3y} 计算结果与 SPSS 表 10 ($r_{1y} = -0.852$, $r_{2y} = 0.457$, $r_{3y} = -0.070$) 输出结果一致。

由公式 (2) 可计算出 X_2 、 X_3 分别对 X_1 的间接通径系数, 具体如下:

$$X_{2y} = r_{12} \times p_{2y} = (-0.799) \times (-1.43) = 1.143$$

$$X_{3y} = r_{13} \times p_{3y} = (-0.072) \times 0.587 = -0.042$$

其余计算结果详见表 11, 老芒麦蒸腾速率与环境因子的间接通径系数等计算详见表 12。

3.5 蒸腾速率、净光合速率与环境因子关系的决策系数计算

决策系数是通径分析中的决策指标, 用它可把自变量对响应变量的综合作用进行排序, 确定主要决策变量和限制变量^[3]。其计算公式: $R^2(i) = 2P_{iy} - p_i^2$ 式中: $R^2(i)$ 为自变量 i 的决策系数; p_i 为自变量的直接通径系数; r_{iy} 为自变量 i 与响应变量 y 的相关系数。 $R^2(i) > 0$, 表明自变量对于响应变量起增进

作用, $R^2(i) < 0$, 表明自变量对于响应变量起抑制作用^[3-4]。计算结果见表 11~12。

3.6 蒸腾速率、净光合速率与环境因子关系的偏相关性

偏相关分析是指当 2 个变量同时与第 3 个变量相关时, 将第 3 个变量的影响剔除, 只分析另外 2 个变量之间相关程度的过程。老芒麦蒸腾速率和净光合速率与环境因子的偏相关性具体分析见表 13。

由表 13 可以看出, 蒸腾速率与光合有效辐射、大气温度和叶面温度呈显著偏相关, 净光合速率与空气中的 CO_2 浓度呈显著偏相关, 空气中的 CO_2 浓度、空气湿度和胞间 CO_2 浓度影响较小。气候因子对净光合速率的影响与蒸腾速率有所不同, 空气中的 CO_2 浓度和大气温度对净光合速率的影响较大,

表 10 相关性检验输出结果

Tab. 10 Correlation and test output

	AirCO ₂	PAR	AT	LP	Cint	RH
AirCO ₂	1	-0.518	-0.851 **	-0.845 **	0.912 **	-0.233
PAR	-0.518	1	0.430	0.501	-0.704 *	-0.087
AT	-0.851 **	0.430	1	0.996 **	-0.799 **	0.558
LP	-0.845 **	0.501	0.996 **	1	-0.810	0.538

表 11 老芒麦净光合速率与环境因子的简单相关系数分解

Tab. 11 Simple correlation coefficient decomposition between net photosynthetic rate of *Elymus sibiricus* and environmental factors

自变量	与 y (P_n) 的简单相关系数	直接通径系数	间接通径系数				决策系数
			X_1 (Cint)	X_2 (AT)	X_3 (RH)	间接通径系数合计	
X_1 (Cint)	-0.852	-1.953		1.142 57	-0.042 264	1.100 306	-0.486 3
X_2 (AT)	0.457	-1.43	1.560 447		0.327 546	1.887	-3.35
X_3 (RH)	-0.07	0.587	0.140 616	-0.797 94		-0.657 324	-0.426 7

表 12 老芒麦蒸腾速率与环境因子的简单相关系数分解

Tab. 12 Simple correlation coefficient decomposition between transpiration rate of *Elymus sibiricus* and environmental factors

自变量	与 y (P_n) 的简单相关系数	直接通径系数	间接通径系数			决策系数
			X_1 (Cint)	X_2 (AT)	间接通径系数合计	
X_1 (Cint)	-0.982	-0.972		-0.01	-0.01	0.964 2
X_2 (RH)	0.212	0.141	0.071		0.071	0.039 9

表 13 老芒麦蒸腾速率、净光合速率与环境因子的偏相关系数

Tab. 13 Path correlative coefficients between transpiration rate, net photosynthetic and environmental factors for *Elymus sibiricus*

土壤水分条件	项目	偏相关系数					
		AirCO ₂	PAR	RH	AT	LT	Cint
充分供水 (PB)	Evap	-0.197	0.985 *	-0.324	0.983 *	-0.983 *	0.299
	P_n	0.802 *	0.772	0.741	-0.775 *	-0.557	0.623

光合有效辐射、空气湿度和叶面温度对其影响较小。

4 结论

(1) 老芒麦净光合速率的日变化规律中,在其他环境因子都变化的情况下,老芒麦的净光合速率与空气中的 CO_2 浓度、光合有效辐射、胞间 CO_2 浓度的关系较密切,剔除其他因子干扰的情况下,老芒麦的净光合速率与光合有效辐射、大气温度、叶面温度相关。胞间 CO_2 浓度之所以对净光合速率影响较大,主要是通过大气温度的作用来实现的。空气相对湿度对净光合速率的影响较小,主要是因为大气温度的反作用较大。

(2) 在其他环境因子都变化的情况下,空气中的 CO_2 浓度、光合有效辐射、大气温度、胞间 CO_2 浓度对老芒麦的蒸腾速率影响较大。空气相对湿度对蒸腾速率的影响中,有一半的作用是通过胞间 CO_2 浓度因子的影响实现的。胞间 CO_2 浓度对蒸腾速率的影响主要靠自身作用,通过其他因子的间接影响较小。

(3) 充分供水条件下,老芒麦的净光合速率、蒸腾速率经逐步回归分析、显著性检验,最优拟合模型分别为:

$$P_n = 90.424 - 0.236C_{int} + 2.039RH - 1.747AT$$

$$Evap = 12.735 - 0.035C_{int} + 0.147RH$$

(4) 由环境因子对老芒麦的蒸腾速率、光合速率的决策系数可以看出,环境因子对蒸腾速率影响的综合排序为:大气温度 > 胞间 CO_2 浓度 > 空气湿度,环境因子对净光合速率影响的综合排序为:胞间 CO_2 浓度 > 空气湿度。胞间 CO_2 浓度、大气温度、空气湿度对净光合速率起抑制作用。胞间 CO_2 浓度、空气湿度对蒸腾速率起促进作用。

参考文献 (References):

- (1) 张琪,丛鹏,彭励. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现 (J). 农业网络信息,2007 (3):109-110. (Zhang Qi, Cong Peng, Peng Li. Size analysis in the Excel and SPSS (J). Agricultural Network Information,2007 (3):109-110.)
- (2) 杜家菊,陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法 (J). 生物学通报,2010,45 (2):4-6. (Du Jiaju, Chen Zhiwei. Using the SPSS method to realize size analysis of linear regression (J). Bulletin of Biology,2010,45 (2):4-6.)
- (3) 袁志发,周静宇,郭满才,等. 决策系数: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):131-133. (Yuan Zhifa, Zhou Jingyu, Guo Mancai, et al. Decision coefficient:Size analysis of decision index (J). Journal of northwest Agriculture and Forestry University of Science and Technology, 2001,29 (5):131-133.)
- (4) 杜鹏. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现 (J). 陕西气象,2012 (1):15-18. (Du Juan. Size analysis in Excel and SPSS (J). Shaanxi Meteorological,2012 (1):15-18.)
- (5) 罗永忠,成自勇. 水分胁迫对紫花苜蓿叶水势、蒸腾速率和气孔导度的影响 (J). 草地学报,2011,19 (2):215-221. (Luo Yongzhong, Cheng Ziyong. Impact of water stress on leaf water potential, transpiration rate (T_r) and stomatal conductance (G_s) of *Alfalfa* (J). Acta Agrestia Sinica,2011,19 (2):215-221.)
- (6) 宫璇,张如莲,曹红星,等. 4 个椰子品种光合、蒸腾作用日变化特征及影响因素 (J). 热带作物学报,2011,32 (2):221-224. (Gong Xuan, Zhang Rulian, Cao Hongxing, et al. Daily changes of photosynthesis and transpiration rate of four cultivars of coconut and the influencing factors (J). Chinese Journal of Tropical Crops, 2011,32 (2):221-224.)
- (7) 邹学校,马艳青,张竹青,等. 环境因子对辣椒光合与蒸腾特性的影响 (J). 植物资源与环境学报,2005,14 (4):15-20. (Zou Xuexiao, Ma Yanqing, Zhang Zhuqing, et al. Effects of environment factors on photosynthesis and transpiration characters of *Capsicum* (J). Journal of Plant Resources and Environment Annuum,2005, 14 (4):15-20.)
- (8) 刘志龙,方建民,虞木奎,等. 三种林-茶复合林分中环境因子和茶的光合特征参数的日变化规律 (J). 植物资源与环境学报,2009,18 (2):62-67. (Liu Zhilong, Fang Jianmin, Yu Mukui, et al. LIUD iurnal variations of environmental factors and photosynthetic parameters of *Camellia sinensis* in three forest-tea mixed stands (J). Journal of Plant Resources and Environment, 2009,18 (2):62-67.)
- (9) 茫来,宝音陶格涛,布仁其其格,等. 黄花苜蓿光合蒸腾日变化特征及其与环境因子的关系 (J). 草地学报,2010,18 (2):195-198. (Mang Lai, Bao Yintaogetao, Bu Renqiqige, et al. Diurnal dynamics of photosynthetic and transpiration rates of *Medicago falcate* L. and their relationships with environmental factors (J). Acta Agrestia Sinica,2010,18 (2):195-198.)
- (10) 赵鸿,杨启国,邓振镛,等. 半干旱雨养区小麦光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征 (J). 干旱地区农业研究,2007,25 (1):125-130. (Zhao Hong, Yang Qiguo, Deng Zhenyong, et al. Characteristics of photosynthesis, transpiration and water use efficiency of wheat leaf in semi-arid rain feed region (J). Agricultural Research in the Arid Areas,2007,25 (1):125-130.)
- (11) 陈永金,陈亚宁,薛燕. 干旱区植物耗水量的研究与进展 (J). 干旱区资源与环境,2004,18 (6):152-158. (Chen Yongjin, Chen Yaning, Xue Yan. The progress and perspective of study on water consumption of vegetation in arid region (J). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2004,18 (6):152-158.)
- (12) 常宗强,冯起,张秀凤,等. CO_2 浓度升高对极端干旱区多枝桉柳叶片水分利用效率的影响 (J). 干旱区地理,2011,34 (3):499-503. (Chang Zongqiang, Feng Qi, Zhang Xiufeng, et al. Responses of water use efficiency of *Tamarix ramosissima* Ledeb leaf to elevated CO_2 concentration (J). Arid Land Geography,2011,34 (3):499-503.)
- (13) 祁娟,徐柱,王海清,等. 披碱草与老芒麦苗期抗旱性综合评价 (J). 草地学报,2009,17 (1):36-42. (Qi Juan, Xu Zhu, Wang Haiqing, et al. Comprehensive evaluation of the drought resistance

- of *Elymus dahuricus* Turcz. and *Elymus sibiricus* L. at seedling stage (J). *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17 (1): 36–42.)
- (14) 高瑞忠, 李凤玲, 于焯, 等. 浑善达克沙地人工牧草蒸腾光合作用与环境因子的关系分析 (J). *节水灌溉*, 2012 (3): 14–18. (Gao Ruizhong, Li Fengling, Yu Chan, et al. Analysis of relationships between photosynthetic and rates of the forage grass with environmental factors in today sandy area (J). *Journal of Water Saving Irrigation*, 2012 (3): 14–18.)
- (15) 王建林, 温学发, 赵风华, 等. CO₂ 浓度倍增对 8 种作物叶片光合作用、蒸腾作用和水分利用效率的影响 (J). *植物生态学报*, 2012, 36 (5): 438–446. (Wang Jianlin, Wen Xuefa, Zhao Fenghua, et al. Effects of doubled CO₂ concentration on leaf photosynthesis, transpiration and water use efficiency of eight crop species (J). *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36 (5): 438–446.)
- (16) 高丽, 杨劼, 刘瑞香. 不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征 (J). *生态学报*, 2009, 29 (11): 6 026–6 032. (Gao Li, Yang Jie, Liu Ruixiang. Effects of soil moisture levels on photosynthesis, transpiration, and moisture use efficiency of female and male plants of *Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis* (J). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (11): 6 026–6 032.)
- (17) 张永志, 赵首萍, 徐明飞, 等. 不同蒸腾作用对番茄幼苗吸收 Pb、Cd 的影响 (J). *生态环境学报*, 2009, 18 (2): 515–518. (Zhang Yongzhi, Zhao Shouping, Xu Mingfei, et al. Effect of transpiration rates on the absorption of Pb and Cd in seedling of tomato (J). *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18 (2): 515–518.)
- (18) 左小安, 赵学勇, 赵哈林, 等. 退化沙质草场群落特征及功能群多样性的空间变异性 (J). *干旱区研究*, 2006, 23 (1): 39–45. (Zuo Xiao'an, Zhao Xueyong, Zhao Halin, et al. Spatial variability of community characters and functional group diversity in a degenerated sandy steppe in Horqin sandland (J). *Arid Zone Research*, 2006, 23 (1): 39–45.)
- (19) 苏芮, 李卫红, 郝兴明, 等. 荒漠河岸林地区胡杨幼苗根系水力提升作用探究 (J). *干旱区研究*, 2012, 29 (2): 342–346. (Su Rui, Li Weihong, Hao Xingming, et al. Research on hydraulic lifting of *Populus euphratica* seedling roots in desert riparian forest area (J). *Arid Zone Research*, 2012, 29 (2): 342–346.)
- (20) 刘加珍, 李卫红, 吴纯渊, 等. 荒漠河岸生态系统退化与物种多样性恢复研究 (J). *干旱区研究*, 2009, 26 (2): 212–220. (Liu Jiazhen, Li Weihong, Wu Chunyuan, et al. Degeneration and restoration of species diversity of a desert riparian ecosystem (J). *Arid Zone Research*, 2009, 26 (2): 212–220.)
- (21) 赵平, 饶兴权, 马玲, 等. 马占相思树干液流密度和整树蒸腾的个体差异 (J). *生态学报*, 2006, 26 (12): 4 050–4 058. (Zhao Ping, Rao Xingquan, Ma Ling, et al. The variations of sap flux density and whole-tree transpiration across individuals of *Acacia mangium* (J). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (12): 4 050–4 058.)
- (22) 赵奎, 丁国栋, 吴斌, 等. 宁夏盐池毛乌素沙地柠条锦鸡儿茎流及蒸腾特征 (J). *干旱区研究*, 2009, 26 (3): 390–395. (Zhao Kui, Ding Guodong, Wu Bing, et al. Characteristics of sap flow and transpiration of *Caragana korshinskii* in the Mu Us Sandland in Ningxia (J). *Arid Zone Research*, 2009, 26 (3): 390–395.)

Application of Path Analysis in Stepwise Linear Regression SPSS

SONG Xiao-yuan, ZHU Zhong-yuan, LIU Yan-wei, ZHAO Hong-jin

(Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, Inner Mongolia, China)

Abstract: Path analysis is a multivariate statistical technique put forward by geneticists Sewall Wright in 1921, based on the surface direct correlation decomposition between dependent and independent variables, to study the direct and indirect importance of independent variable on the dependent variable, so as to provide reliable basis for statistical decision. Plant photosynthesis and transpiration is one of the most important physiological activities, they have close relationship with environmental factors such as light, temperature and humidity, at the same time, the photosynthesis is the main factors of plant yield components, to study the relationship between the environmental factors and photosynthesis, transpiration could help to enhance the plants photosynthetic capacity, so as to achieve the purpose of increasing production. The effects of environment factors such as photosynthetic, active radiation, air humidity, air temperature, carbon dioxide on photosynthesis and transpiration characters of *Elymus sibiricus* in enough moisture were studied using stepwise regression analysis and path analysis, decision factors between the environmental factors and transpiration rate, net photosynthetic were calculated. The transpiration rate, net photosynthetic rate were test using normal distribution before path analysis. The analysis results are examined using significance test until each variables in regression equations reached significant level. Different point of view such as correlation, partial correlation analysis is using to study the correlation between photosynthesis, transpiration characters and the environment factors. The results indicated that carbon dioxide, temperature, air humidity have inhibitory effect on net photosynthetic rate while carbon dioxide, air humidity promote transpiration rate.

Key words: *Elymus sibiricus*; photosynthetic; transpiration rate; environmental factors; stepwise regression analysis; path analysis; decision coefficient