

板栗叶片及土壤养分含量对产量影响

徐 丞, 郭素娟*

(教育部森林培育与保护重点实验室, 北京林业大学林学院, 北京 100083)

摘 要: 为了解迁西板栗“燕山早丰”叶片及土壤养分含量对产量的影响, 通过路径分析和相关性分析对迁西县 17 个代表性“燕山早丰”板栗园土壤和叶片养分状况与产量进行分析, 得出叶片不同养分元素以及土壤养分含量对板栗产量影响的直接作用和间接作用。结果显示, 路径分析中残差值均小于 0.4, 即板栗叶片或土壤的养分元素含量对产量的影响权重均超过 60%; 高产果园中, 提高板栗叶片 N、P、Ca、Mn、Fe、Mg 含量, 提高土壤 N、Fe、Mn 含量均有利于提高板栗产量; 低产果园中, 提高板栗叶片 N、Ca、Mg 含量, 提高土壤 N 含量均有利于提高板栗产量。因此, 在高产果园中, 向土壤中增施 N、P、Fe、Mn 等肥料, 向叶面喷施 Ca、Mg 等叶面肥料均有利于提高板栗产量; 低产果园中, 向土壤中增施 N 肥和向叶面喷施 Ca、Mg、Fe、Cu 等元素叶面肥料是提高产量的有效措施。

关键词: 板栗; 产量; 叶片养分元素; 土壤速效养分; 路径分析; 相关性分析

板栗 (*Castanea mollissima* Bl.) 作为木本粮食作物具有较高的经济价值, 其独特的风味一直深受消费者的喜爱。迁西县位于燕山南麓, 河北东北部, 气候条件优越, 十分适合板栗生长, 迁西板栗的优良品质享誉国内外^[1-4]。其中, “燕山早丰”品种板栗品质优良, 产量较高, 近年来逐渐成为迁西主栽品种^[2-4], 但由于生产管理水平不一, 且没有科学统一的施肥管理技术, 使得不同板栗园间的土壤养分环境及树体养分水平差异较大, 各个果园间板栗产量多寡不一, 严重影响“燕山早丰”提质增产^[4-6], 了解不同产量果园间土壤养分及叶片养分对产量的影响是提高产量的迫切需求。

路径分析 (path analysis) 作为一种研究多个变量之间多层因果关系及其相关强度的方法, 它可以将自变量对因变量的相关系数拆解为直接作用和经由其他因变量产生作用的间接作用。路径分析方法已多次应用在分析作物产量及其影响因素之间的关系, 如棉花^[7]、玉米^[8-9]、红花^[10-12]、甘蔗^[13]、芒果^[14-15]、西红柿^[16]、小麦^[17]。本研究分别对迁西“燕山早丰”17 个代表性果园的土壤养分条

件及树体养分水平与产量之间进行路径分析, 以期得到“燕山早丰”果园土壤养分含量和树体叶片养分含量对板栗产量的影响, 为“燕山早丰”树体养分管理和产量提高提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于河北省唐山市迁西县。迁西县属暖温带大陆性季风气候, 冬季寒冷干燥, 夏季炎热多雨。年平均气温 10.6℃, 最高气温出现在 7 月, 平均气温 25.2℃, 最低气温出现在 1 月, 平均气温 -6℃, 无霜期 176 d。多年平均降水量 744.7 mm, 5 ~ 10 月降水量 657.6 mm, 占全年降水量的 88%, 年平均相对湿度 59%。

1.2 样地选择

2012 和 2013 年在当地板栗工作人员和栗农帮助下调查板栗“燕山早丰”农业生态背景和生产现状, 选取各地区产量相对稳定、肥料管理和修剪水平相对稳定的具有代表性的 17 个板栗种植园作为调查研究对象, 被调查果园种植品种均为“燕山早丰”, 样地概况见表 1。

1.3 样品采集与指标测定

分别于 2012 和 2013 年 7 月中旬采集选定果园果树树冠外围中部营养枝条中间部位无病虫的成熟叶片, 单株果树东西南北 4 个方向各采集 2 片, 每个种植园不少于 100 片。采集完成后将叶片放入冰

收稿日期: 2020-03-16; 录用日期: 2020-05-19

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD1001604); 国家林业公益性行业科研专项重大项目 (201204401)。

作者简介: 徐丞 (1990-), 男, 山东滕州人, 博士研究生, 研究方向为经济林栽培与利用。E-mail: xuchengchn@163.com。

通讯作者: 郭素娟, E-mail: gwangzs@263.net。

盒中带回实验室处理。将叶片按照自来水、0.1%洗涤剂、自来水顺序清洗洁净,再使用去离子水将叶片清洗3遍后置于烘箱105℃杀青30min,80℃烘干至恒重,粉碎过0.25 mm筛,混匀后密闭保存样品袋中待测^[4-5]。使用不锈钢土钻采集树冠边缘正下方0~40 cm土壤,每个果园共采集25个点,使用四分法取土壤1 kg放入布袋中带回并放置在阴凉处风干,过2 mm筛后待测。

表1 试验样地概况

编号	经纬度	海拔 (m)	地形	土壤 类型	树龄 (年)	种植密度 (m×m)
1	40° 25' 30" N 118° 12' 14" E	205	坡地	褐土	15	4×4
2	40° 22' 17" N 118° 16' 15" E	214	坡地	褐土	11	3×4
3	40° 23' 23" N 118° 13' 29" E	210	坡地	褐土	20	3×4
4	40° 21' 57" N 118° 12' 17" E	163	平地	褐土	11	4×4
5	40° 18' 34" N 118° 14' 16" E	181	坡地	褐土	30	4×6
6	40° 16' 10" N 118° 17' 38" E	144	坡地	风沙土	15	4×4
7	40° 12' 25" N 118° 21' 14" E	199	坡地	褐土	8	2×3
8	40° 13' 24" N 118° 24' 21" E	144	坡地	棕壤	9	3×4
9	40° 12' 18" N 118° 25' 44" E	115	坡地	棕壤	10	3×2
10	40° 17' 28" N 118° 15' 05" E	141	坡地	褐土	15	4×4
11	40° 08' 54" N 118° 16' 18" E	165	坡地	褐土	40	4×6
12	40° 06' 07" N 118° 17' 09" E	165	坡地	褐土	15	3×4
13	40° 06' 09" N 118° 22' 25" E	117	坡地	棕壤	10	3×4
14	40° 02' 28" N 118° 25' 00" E	239	坡地	褐土	17	6×6
15	40° 11' 23" N 118° 19' 43" E	146	坡地	棕壤	9	3×3
16	40° 11' 45" N 118° 29' 07" E	127	坡地	棕壤	17	6×6
17	40° 09' 50" N 118° 30' 48" E	94	平地	棕壤	13	3×3

叶片中N、P、K的测定:称取样品0.2 g(准确至0.001 g),采用H₂SO₄-H₂O₂消煮,全氮采用凯氏定氮法,全磷采用钼锑抗比色法,全钾采用AAS法测定。叶片中Ca、Mg、Fe、Cu、Mn、B的测定:称取样品0.5 g(准确至0.001 g),加入浓HNO₃-HClO₄混合酸10 mL,遮光静置12 h后加热消解。Ca、Mg、Fe、Cu、Mn均采用AAS法,B采用甲亚胺法测定^[18]。土壤碱解氮含量用碱解扩散法测定,土壤有效态P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、B使用Mehlich3方法测定^[19]。

于2012和2013年果实成熟期分别统计各样地板栗产量^[5]。

1.4 数据分析方法

本研究使用相关性分析及路径分析进行数据分析,将叶片养分元素含量、土壤养分元素含量、板栗产量等指标纳入分析中。初步推定变量之间的因果关系并展示在路径图中(图1)。路径图是路径分析的主要工具,单向箭头表示变量之间的因果关系,双向箭头表示变量之间的相关关系^[20]。

分别将叶片养分含量和土壤养分含量作为自变量,产量作为因变量进行路径分析。其中,自变量和因变量之间相关系数的分解计算依照以下公式:

$$r_{ix} = P_{ix} + \sum_{j=1}^n r_j P_{jx}$$

其中, r_{ix} 是因变量与自变量之间的相关系数; P_{ix} 是自变量*i*对因变量直接作用; $r_j P_{jx}$ 是自变量*i*经由自变量*j*对因变量的间接作用^[14, 20]。

使用SPSS 18.0和Amos Graphics 21.0进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 板栗叶片养分含量与产量的路径分析

分别依据17个板栗果园2012和2013年板栗产量的平均值,将其划分为高产果园和低产果园。由此,2012年高产组果园为产量大于1815 kg/hm²的果园,低产组果园为产量小于1815 kg/hm²的果园;2013年高产组果园为产量大于1979 kg/hm²的果园,低产组果园为产量小于1979 kg/hm²的果园;2012和2013年两年划分结果相同,共计高产果园9个,低产果园8个。

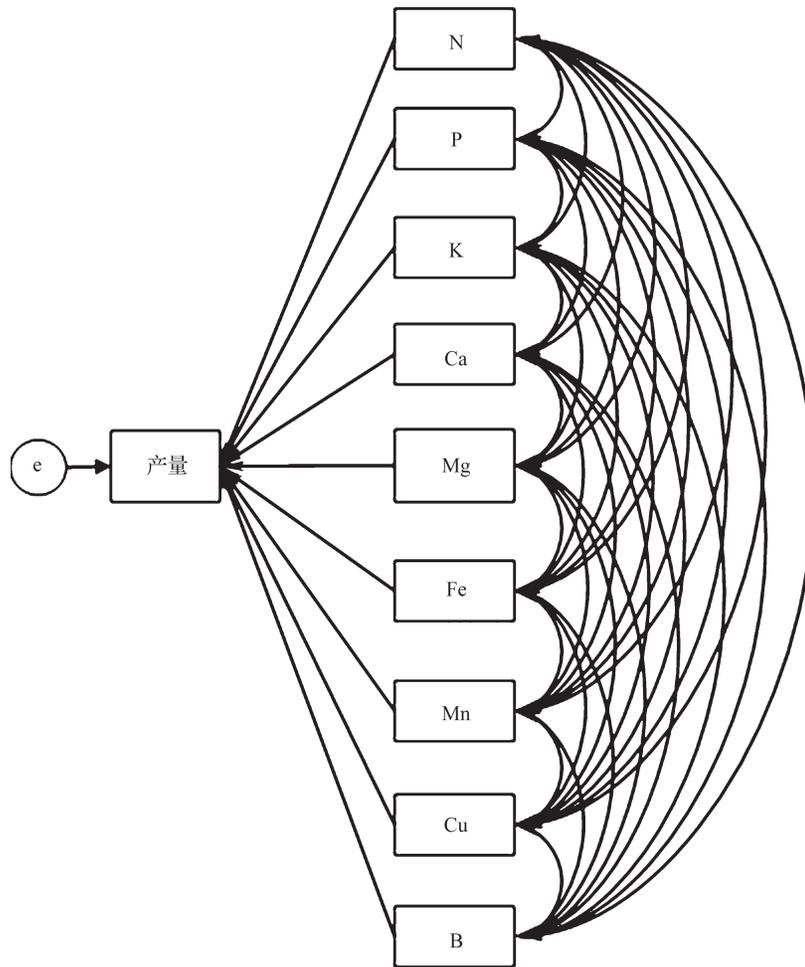


图1 路径图

通过叶片养分含量与产量间相关性分析得出产量与叶片不同养分间的相关关系，但是养分之间存在复杂的协同与拮抗作用，一种养分元素除了对产量有直接作用以外，还通过与其他元素之间的协同与拮抗作用对产量产生间接作用。通过路径分析方法可以分析不同养分元素对产量的直接作用以及通过其他元素产生的间接作用^[9]。

通过路径分析得出高产组叶片(HL)养分含量对产量的直接作用与间接作用(表2)。HLN、HLCa、HLMn与高产组产量间均为极显著的正相关关系($P<0.01$)，HLP、HLFe与高产组产量为显著正相关关系($P<0.05$)。HLN(0.111)、HLK(0.183)、HLCa(0.748)、HLMg(0.473)、HLFe(0.119)、HLMn(0.576)对产量有较高的直接促进作用，其中以HLCa(0.748)对产量的直接促进作用最高；HLP(-0.528)则对产量有较高的直接抑制作用；其他高产组叶片养分含量对产量的直接作用较低。HLN通过HLCa和HLMn对产量有较高的间接促进

作用，而HLN经由HLP和HLMg则对产量有较高的间接抑制作用。HLP通过HLCa、HLMn对产量有较高的间接促进作用，通过HLMg则对产量产生较高间接抑制作用。HLCa通过HLMn对产量有较高的间接促进作用，通过HLP、HLMg对产量有较高的间接抑制作用。HLFe通过HLMg对产量有较高的间接促进作用，而通过其他元素的间接抑制作用较低。HLMn通过HLCa对产量的间接促进作用较高，而通过HLP、HLMg则对产量有较高的间接抑制作用。路径分析得出残差值(Residual)为0.3901，即仍有39.01%的影响因素未被列入路径分析之中。

通过路径分析方法得出低产组叶片(LL)养分含量对产量的直接影响和通过其他养分产生的间接影响(表3)。低产组中，LLP、LLK、LLCa、LLCu与产量极显著正相关($P<0.01$)，而LLMg则与产量存在极显著负相关关系($P<0.01$)，LLN、LLFe与产量存在显著正相关关系($P<0.05$)，LLMn、LLB与产量相关性不显著。LLN、LLCa、LLFe、LLMn

对产量有较强的直接促进作用, 而 LLP、LLMg 和 LLCu 对产量有较强的直接抑制作用。LLN 通过 LLCa、LLMg 对产量产生较强间接促进作用, 通过 LLP 对产量产生较强间接抑制作用。LLP 经由 LLN、LLCa、LLMg 对产量产生较强的间接促进作用。LLK 经由 LLN、LLMg 对产量产生较强的间接促进作用, 通过 LLP 则产生较强抑制作用。LLCa 通过 LLN 和 LLMg 对产量产生较强促进作用, 经由

LLP 产生较强抑制作用。LLMg 经由 LLP 对产量产生较强促进作用, 而经由 LLN、LLCa 则产生较强抑制作用。LLFe 通过其他养分对产量的间接影响均较低。LLCu 通过 LLN、LLCa、LLMg 对产量产生较高的间接促进作用, 而经由 LLP 和 LLFe 对产量产生较高的间接抑制作用。路径分析得出残差值为 0.2201, 即仍有 22.01% 的影响因素未被列入路径分析之中。

表 2 高产样地叶片养分含量与产量的路径分析及相关性分析

养分元素	HLN	HLP	HLK	HLCa	HLMg	HLFe	HLMn	HLCu	HLB	相关系数
N	0.111	-0.391	-0.069	0.588	-0.136	0.004	0.406	-0.019	-0.013	0.482**
P	0.082	-0.528	-0.019	0.573	-0.110	0.007	0.290	-0.007	-0.014	0.274*
K	-0.042	0.056	0.181	-0.281	0.065	0.009	-0.098	0.022	0.011	-0.077
Ca	0.087	-0.405	-0.068	0.748	-0.244	-0.001	0.269	-0.009	-0.025	0.353**
Mg	-0.032	0.123	0.025	-0.385	0.473	0.046	-0.123	-0.005	0.012	0.133
Fe	0.004	-0.030	0.014	-0.007	0.183	0.119	0.057	-0.005	-0.003	0.333*
Mn	0.078	-0.266	-0.031	0.349	-0.101	0.012	0.576	-0.004	-0.004	0.611**
Cu	0.027	-0.046	-0.053	0.086	0.035	0.008	0.027	-0.075	-0.001	0.009
B	0.021	-0.108	-0.028	0.268	-0.080	0.005	0.030	-0.001	-0.069	0.037

注: Residual=0.3901; 加粗字体为叶片养分元素含量对产量的直接作用; HLN、HLP、HLK、HLCa、HLMg、HLFe、HLMn、HLCu、HLB 分别表示高产样地叶片 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、B 含量; * 表示 0.05 水平显著; ** 表示 0.01 水平极显著。

表 3 低产样地叶片养分元素含量与产量的路径分析及相关性分析

养分元素	LLN	LLP	LLK	LLCa	LLMg	LLFe	LLMn	LLCu	LLB	相关系数
N	0.325	-0.264	0.007	0.112	0.463	-0.084	-0.071	-0.078	0.001	0.411*
P	0.195	-0.440	0.005	0.146	0.593	-0.032	0.075	-0.077	-0.001	0.465**
K	0.147	-0.131	0.017	-0.005	0.406	-0.036	0.029	-0.033	0.000	0.394**
Ca	0.139	-0.244	0.000	0.263	0.368	0.035	0.002	-0.071	0.001	0.492**
Mg	-0.174	0.302	-0.008	-0.112	-0.864	-0.011	0.067	0.058	0.000	-0.742**
Fe	-0.089	0.045	-0.002	0.030	0.031	0.306	-0.009	0.035	0.001	0.348*
Mn	-0.064	-0.093	0.001	0.002	-0.161	-0.008	0.358	-0.010	-0.002	0.024
Cu	0.235	-0.316	0.005	0.174	0.462	-0.100	0.034	-0.108	0.001	0.388**
B	0.016	0.016	0.000	0.011	-0.015	0.029	-0.036	-0.007	0.016	0.030

注: Residual=0.2201; 加粗字体为叶片养分元素含量对产量的直接作用; LLN、LLP、LLK、LLCa、LLMg、LLFe、LLMn、LLCu、LLB 分别表示低产样地叶片 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、B 含量; * 表示 0.05 水平显著; ** 表示 0.01 水平极显著。

2.2 土壤速效养分含量与板栗产量的路径分析

通过路径分析得出高产组样地土壤 (HS) 速效养分含量对板栗产量的直接作用大小和经由其他土壤速效养分含量对板栗产量产生的间接作用大小 (表 4)。高产组中 HSN、HSMg 和 HSMn 与产量

具有极显著的正相关关系 ($P < 0.01$), HSCa 与产量具有显著正相关关系 ($P < 0.05$), 而 HSCu 则与产量具有显著负相关关系 ($P < 0.05$)。HSN、HSFe、HSMn 和 HSB 对产量具有较高的直接促进作用, HSK、HSCa 和 HSCu 则对产量具有较高的直接抑制

作用。HSN 通过 HSK 对产量有较高的间接抑制作用。HSCa 通过 HSN、HSFe 和 HSMn 对产量具有间接促进作用，通过 HSCu 有较高的抑制作用。HSMg 通过 HSN、HSFe 和 HSMn 对产量有较高的间接促进作用，而经由其他元素的间接作用较小。HSMn 经由 HSN 和 HSFe 对产量产生较高的间接促进作用，经由其他元素的间接作用较小。HSCu 经由 HSFe 对产量产生较高的间接促进作用，经由 HSK 产生较高间接抑制作用。路径分析得出残差值为 0.2383，即仍有 23.83% 的影响因素未被列入路径分析之中。

通过路径分析得出低产组样地土壤 (LS) 速效养分含量对板栗产量的直接作用大小和经由其他土壤速效养分含量对板栗产量产生的间接作用大

小 (表 5)。LSN 与产量之间存在极显著正相关关系 ($P<0.01$)，LSMg 和 LSK 与产量之间存在极显著负相关关系，其他元素与产量之间相关性不显著。LSN、LSMn 和 LSB 对产量有较强的直接促进作用，而 LSP、LSK、LSCa、LSMg、LSFe、LSCu 对产量有较强的直接抑制作用。LSN 通过 LSCa、LSMg、LSFe 对产量有较强的间接促进作用，而经由 LSMn 则对产量有较强间接抑制作用。LSK 经由 LSCa 和 LSFe 对产量有较强直接促进作用，经由 LSMn 则对产量有较强间接抑制作用。LSMg 通过 LSMn 对产量存在较强间接促进作用，而经由 LSN 和 LSCa 对产量具有较强的间接抑制作用。路径分析得出残差值为 0.1351，即仍有 13.51% 的影响因素未被列入路径分析之中。

表 4 高产组土壤速效养分含量与板栗产量的路径分析及相关性分析

养分元素	HSN	HSP	HSK	HSCa	HSMg	HSFe	HSMn	HSCu	HSB	相关系数
N	0.608	0.002	-0.179	-0.033	0.009	-0.046	0.077	0.045	0.000	0.482**
P	0.258	0.004	-0.308	-0.004	-0.006	0.223	-0.025	-0.099	0.029	0.072
K	0.209	0.002	-0.521	-0.021	-0.001	0.242	0.014	-0.205	0.036	-0.245
Ca	0.170	0.000	-0.093	-0.119	0.025	0.192	0.312	-0.163	0.016	0.340*
Mg	0.185	-0.001	0.022	-0.099	0.030	0.141	0.293	-0.055	0.000	0.517**
Fe	-0.051	0.002	-0.229	-0.041	0.008	0.550	0.083	-0.216	0.034	0.138
Mn	0.118	0.000	-0.019	-0.094	0.022	0.115	0.394	-0.075	0.006	0.468**
Cu	-0.081	0.001	-0.315	-0.057	0.005	0.351	0.088	-0.339	0.034	-0.314*
B	0.001	0.001	-0.186	-0.019	0.000	0.185	0.024	-0.114	0.100	-0.007

注: Residual=0.2383; 加粗字体为土壤速效养分含量对产量的直接作用; HSN、HSP、HSK、HSCa、HSMg、HSFe、HSMn、HSCu、HSB 分别表示高产样地土壤碱解氮、有效磷、速效钾、速效钙、速效镁、速效铁、速效锰、速效铜、速效硼含量; * 表示 0.05 水平显著; ** 表示 0.01 水平极显著。

表 5 低产组土壤速效养分含量与板栗产量的路径分析及相关性分析

养分元素	LSN	LSP	LSK	LSCa	LSMg	LSFe	LSMn	LSCu	LSB	相关系数
N	0.251	0.015	-0.088	0.318	0.327	0.299	-0.809	-0.052	0.046	0.306**
P	-0.012	-0.322	0.024	-0.403	0.020	-0.155	0.986	-0.119	0.123	0.143
K	0.083	0.029	-0.266	0.144	-0.087	0.327	-0.704	0.007	0.040	-0.427**
Ca	-0.096	-0.157	0.046	-0.529	-0.255	-0.220	0.890	-0.179	0.327	-0.172
Mg	-0.119	0.009	-0.034	-0.548	-0.688	-0.070	0.885	-0.019	-0.020	-0.603**
Fe	-0.140	-0.093	0.663	-0.141	-0.090	-0.535	0.814	-0.094	0.100	0.284
Mn	-0.108	-0.169	0.300	-0.103	-0.125	-0.403	0.874	-0.168	0.083	0.180
Cu	0.041	-0.121	0.006	-0.469	-0.041	-0.160	0.998	-0.316	0.207	0.146
B	0.046	-0.156	-0.042	-0.417	0.054	0.000	0.616	-0.258	0.253	0.095

注: Residual=0.1351; 加粗字体为土壤速效养分含量对产量的直接作用; LSN、LSP、LSK、LSCa、LSMg、LSFe、LSMn、LSCu、LSB 分别表示低产样地土壤碱解氮、有效磷、速效钾、速效钙、速效镁、速效铁、速效锰、速效铜、速效硼含量; * 表示 0.05 水平显著; ** 表示 0.01 水平极显著。

3 讨论

3.1 不同产量水平果园中叶片及土壤养分含量对产量影响的权重分析

作物体内和作物生长的土壤中养分元素的含量对作物产量有着直接的影响,同时不同养分元素吸收和利用之间也存在相互影响。通过路径分析,分析不同养分元素和产量之间的关系,既可以得出某一种养分元素对产量的直接影响,也可以得出某一种元素通过对其他元素的影响而对产量产生的间接影响作用。而路径分析中残差值则代表着未被考虑在路径分析之中的变量对产量影响的大小,残差值越低则代表路径分析模型中未被考虑到的变量对产量影响越小,则模型中的自变量对因变量的影响越大。Kumara 等^[14]分析芒果叶片中养分元素对芒果产量的影响时发现残差值分别为 0.7308 和 0.7292。Majumder 等^[15]通过路径分析研究芒果不同基因及性状对产量的影响时得出残差值分别为 0.209 和 0.385。本研究中残差值均小于 0.4,叶片和土壤养分元素含量对板栗产量的影响均高于 60%,土壤和树体养分状况仍是限制产量的最主要因素;高产和低产果园土壤养分元素含量的残差值(0.2383, 0.1351)低于叶片养分元素含量的残差值(0.3901, 0.2201),表明对于板栗产量的影响,土壤养分元素含量的影响高于叶片养分元素含量的影响;低产组中叶片和土壤养分含量的残差较低,表明低产组中叶片及土壤养分对产量的影响较高,改善土壤和树体养分水平对提高低产果园产量更加有效。同时也表明在高产组中修剪水平、病虫害防治等措施对产量影响比低产组中的大,因此高产组果园中应更加注重管理水平多方面提高。

3.2 不同产量水平果园中板栗叶片养分元素含量对产量的影响

通过高产组果园叶片养分元素含量与产量间的相关性分析和路径分析,表明叶片中 N、P、Ca、Fe、Mn 含量与产量呈显著正相关关系($P < 0.05$)。其中,叶片 N 含量对产量的直接作用(0.111)低于叶片 N 含量经由叶片中 Ca 和 Mn 含量的间接作用(0.588, 0.406),叶片 N 含量对产量的直接促进作用并不高,叶片 N 含量对产量的促进作用多是通过叶片中 Ca 和 Mn 含量来实现;叶片 P 含量对产量为直接抑制作用(-0.528),但经由叶片 Ca 含量(0.573)和 Mn 含量(0.29)的间接作用则对

产量有较高的促进作用;叶片 Ca 含量对产量有较高直接促进作用(0.748),经由 Mn 含量对产量的间接作用(0.269)也较高;叶片 Fe 含量对产量的直接作用(0.119)低于经由叶片 Mg 含量对产量的间接作用(0.183);叶片 Mn 含量对产量的直接作用(0.576)和经由叶片 Ca 含量对产量的间接作用(0.349)均较高,同时 Mn 含量与产量的相关系数也最高。综上,高产组中叶片 N 和 P 含量对产量的促进作用均大部分经由叶片 Ca 和 Mg 含量的间接产生;叶片 Ca 和 Mg 含量对产量的直接促进作用较高,同时两者依赖于对方的间接作用也较高。因此,在高产组果园的树体养分管理中除了补充 N、P 等大量元素外,也需要注意补充 Ca、Mn、Fe、Mg 元素,其中叶片 Ca、Mn 含量对产量促进作用更强,这也与李广会等^[4]、郭素娟等^[5]、孙慧娟等^[21]的结论相同。此外,配施微量元素不仅可以增加产量,对果实品质也有积极影响^[22-23]。

通过低产果园叶片养分元素含量与产量间的相关性分析和路径分析,发现叶片 N、P、K、Ca、Fe、Cu 含量均与产量呈正相关关系($P < 0.05$)。其中,叶片 N 含量对产量的直接促进作用(0.325)较高,同时经由叶片 Ca 含量(0.112)和 Mg 含量(0.463)对产量也存在较高的间接促进作用;叶片 P 含量对产量有直接抑制作用(-0.44),而经由叶片 N、Ca、Mg 含量对产量有较高的间接促进作用(0.195, 0.146, 0.593);叶片 K 含量对产量的直接促进作用(0.017)较低,经由叶片 N、Mg 含量对产量的间接促进作用(0.147, 0.406)较高;叶片 Ca 含量对产量有直接促进作用(0.263),同时经由叶片 N、Mg 含量对产量有较高的促进作用(0.139, 0.368);叶片 Fe 含量对产量的直接促进作用(0.306)较高,但经由其他元素含量的间接作用都较低;叶片 Cu 含量对产量有直接的抑制作用,对产量的促进作用多来自叶片 N、Ca、Mg 含量对产量的间接作用。因此,在低产果园中,叶片 N、P、Ca、Cu 含量对产量的促进作用均是经由叶片 N、Ca、Mg 含量产生的直接或间接作用;而叶片 K 含量对产量的促进作用则大部分来自于叶片 N、Mg 含量的间接作用;叶片 Fe 元素含量对产量的促进作用全部来自于自身的直接作用。综上,在低产组果园的树体养分管理中需要着重提高 N、Ca、Mg 3 个元素含量对板栗产量的影响。

通过高产组果园土壤养分元素含量与产量的

路径分析表明, 土壤 N、Ca、Mg、Mn 含量与产量呈正相关关系 ($P < 0.05$)。其中, 土壤 N 含量对产量的促进作用大部分来自于对产量的直接作用 (0.608); 土壤 Ca 含量对产量的直接作用 (-0.119) 表现为抑制作用, 其对产量的促进作用则主要来自于经由土壤 N、Fe、Mn 含量的间接作用 (0.17, 0.192, 0.312); 土壤 Mg 含量对产量的直接作用较低, 其对产量的促进作用同样主要来自于经由土壤 N、Fe、Mn 含量的间接作用 (0.185, 0.141, 0.293); 土壤 Mn 含量对产量的直接促进作用 (0.394) 较高, 经由土壤 N、Fe 含量对产量的间接促进作用 (0.118, 0.115) 同样处于较高水平。因此, 在高产组果园中, 土壤 N 含量对产量的促进作用来自于自身的直接作用, 而土壤 Ca、Mg、Mn 含量对产量的促进作用均来自于土壤 N、Fe、Mn 含量的直接或间接作用。因此, 在高产组果园的土壤管理中, 着重增加土壤 N、Fe、Mn 含量更有利于提高板栗产量。而通过板栗叶片养分元素含量与产量相关性和路径分析发现, 高产果园中提高叶片 N、P、Ca、Mn、Fe、Mg 等养分含量也有利于提高板栗产量, 这与土壤养分的路径分析结果并不十分一致, 可能是由于土壤养分不均衡而导致养分不能被充分吸收利用, 且这些多属于微量元素, 因此可采用叶面喷肥的方式进行补充。综上, 在高产果园中, 向土壤中增施 N、P、Fe、Mn 等肥料, 向叶面喷施 Ca、Mg 等叶面肥料有利于提高板栗产量。

通过低产组果园土壤养分元素含量与产量的路径分析表明, 仅有土壤 N 含量与产量有显著正相关关系 ($P < 0.05$)。其中, 土壤 N 含量对产量有较高的直接促进作用 (0.251), 经由土壤 Ca、Mg、Fe 含量对产量间接促进作用 (0.318、0.327、0.299) 同样较高。其他土壤养分元素含量与产量均无显著正相关, 但本研究发现提高叶片养分元素 N、Ca、Mg、Fe、Cu 含量有助于低产果园提高产量, 与土壤养分元素分析结果不一致, 这可能是由于土壤养分不均衡导致而不利于板栗树体吸收利用土壤养分。因此, 低产果园中, 向土壤中增施 N 肥和向叶面喷施 Ca、Mg、Fe、Cu 等元素叶面肥料是提高产量的有效措施。

4 结论

板栗果园中叶片养分元素含量和土壤养分元素含量对板栗产量的影响均超过 60%, 是限制板栗产

量提高的主要因素, 并且低产果园中养分元素含量对产量的影响更大, 因此改善树体和土壤的养分元素水平仍是提高板栗产量的最有效措施。在高产果园中, 向土壤中增施 N、P、Fe、Mn 等肥料, 向叶面喷施 Ca、Mg 等叶面肥料有利于提高板栗产量; 低产果园中, 向土壤中增施 N 肥和向叶面喷施 Ca、Mg、Fe、Cu 等元素叶面肥料是提高产量的有效措施。

参考文献:

- [1] 邹锋, 郭素娟, 王静, 等. ICP-MS法测定板栗自交与异交后子房微量元素的含量变化 [J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35 (10): 2867-2871.
- [2] Guo S J, Zou F. Observation on the pistillate differentiation of Chestnut (*Castanea*) cultivar 'Yanshanzaofeng' [J]. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2014, 6 (1): 689-690
- [3] Zou F, Guo S J, Xiong H, et al. A morphological and histological characterization of male flower in Chestnut (*Castanea*) cultivar 'Yanshanzaofeng' [J]. Advance Journal of Food Science and Technology, 2013, 5 (9): 1192-1197
- [4] 李广会, 郭素娟, 邹锋. “燕山早丰”叶面喷施微量元素的产量效应 [J]. 江西农业大学学报, 2013, 35 (3): 491-495.
- [5] 郭素娟, 李广会, 熊欢, 等. “燕山早丰”板栗叶片 DRIS 营养诊断研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (3): 709-717.
- [6] 蔡荣, 魏佳花, 祁春节. 板栗产业发展现状、问题与对策 [J]. 北方果树, 2007 (4): 1-3.
- [7] Zeng L, Meredith W R. Associations among lint yield, yield components, and fiber properties in an introgressed population of cotton [J]. Crop science, 2009, 49 (5): 1647-1654.
- [8] Latković D, Jačimović G, Malešević M, et al. Corn monoculture yield response to fertilization and nitrate nitrogen distribution [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2012, 43 (7): 1015-1023.
- [9] Maphumulo S G, Derera J, Qwabe F, et al. Heritability and genetic gain for grain yield and path coefficient analysis of some agronomic traits in early-maturing maize hybrids [J]. Euphytica, 2015, 206 (1): 225-244.
- [10] Abbadi J, Gerendás J, Sattelmacher B. Effects of nitrogen supply on growth, yield and yield components of safflower and sunflower [J]. Plant and Soil, 2008, 306 (1-2): 167-180.
- [11] Bidgoli A M, Akbari G A, Mirhadi M J, et al. Path analysis of the relationships between seed yield and some morphological and phenological traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L) [J]. Euphytica, 2006, 148 (3): 261-268.
- [12] Hajghani M, Saffari M, Moud A M. Path coefficient analysis for the yield components of spring safflower cultivars (*Carthamus*

- tinctorius* L.) in Iran under different nitrogen levels [J]. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, 2009, 6 (6): 737-740.
- [13] Marvellous Z. Using logistic regression models for selection in non-replicated sugarcane breeding populations [J]. *Euphytica*, 2013, 191 (3): 415-428.
- [14] Kumara P, Sharmab S D, Sharmac N C. The path coefficient analysis of yield components for leaf nutrient concentrations in Mango (*Mangifera indica* L.) under rainfed agroclimatic conditions of north-west Himalaya [J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 190: 31-35.
- [15] Majumder D, Hassan L, Rahim M, et al. Correlation and path coefficient analysis of mango (*Mangifera indica* L.) [J]. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 2012, 37 (3): 493-503.
- [16] Rao E S, Kadirvel P, Symonds R C, et al. Relationship between survival and yield related traits in *Solanum pimpinellifolium* under salt stress [J]. *Euphytica*, 2013, 190 (2): 215-228.
- [17] Yücel C, Baloch F S, Özkan H. Genetic analysis of some physical properties of bread wheat grain (*Triticum aestivum* L. em Thell) [J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2009, 33 (6): 525-535.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第3版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007. 268-280.
- [19] 张福锁. 测土配方施肥技术摇篮 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006. 82-83.
- [20] Dewey D R, Lu K H. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production I [J]. *Agronomy Journal*, 1959, 51 (9): 515-518.
- [21] 孙慧娟, 郭素娟, 张丽, 等. 修剪与施氮对板栗叶片 N、P 营养及产量的影响 [J]. *核农学报*, 2019, 33 (4): 816-822.
- [22] 王锐, 王竞, 杨玉春, 等. 配施中微量元素对宁夏酿酒葡萄产量及品质的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2019 (6): 166-171.
- [23] 王丽, 毛平平, 党建友, 等. 叶面喷施微肥对晋南小麦产量和微量元素含量的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2016 (5): 85-89.

Effects of leaf nutrient and soil nutrient on yield of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Bl.)

XU Cheng, GUO Su-juan* (Key Laboratory for Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: This study aimed to analyze the relationship between yield and related leaf and soil nutrients, by using correlation and path analysis of *Castanea mollissima* cv. 'yanshanzaofeng' at Tangshan, Hebei Province of China over two growing seasons. 17 chestnut orchards cultivated *Castanea mollissima* cv. 'yanshanzaofeng' were selected in this study and the leaf nutrition content, soil available nutrients and yield were measured. A residual of 0.3901, 0.2201, 0.2381 and 0.1351 indicated the yield components measured in this study recorded more than 60% magnitude. Increasing contents of foliar N, P, Ca, Mn, Fe, Mg and improving soil N, Fe, Mn contents led to higher chestnut yield in high yield orchards. Higher status of foliar N, Ca, Mg contents and soil Ca, Mg contents led to higher yield in low yield orchards. In conclusion, soil application of N, P, Fe, Mn and foliar application of Ca, Mg will increase chestnut yield in high yield orchard. And in low yield orchard, soil application of N and foliar application of Ca, Mg, Fe, Cu will increase chestnut yield.

Key words: *Castanea mollissima* Bl.; yield; foliar nutrient content; soil nutrient content; path analysis; correlation analysis