

王磊彬,陈兴望,李天宇,等. 江苏丰县地区富士苹果果实矿质元素与品质的相关性及通径分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(7):146-151.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.036

江苏丰县地区富士苹果果实矿质元素与品质的相关性及通径分析

王磊彬, 陈兴望, 李天宇, 施 洋, 王三红, 高志红, 渠慎春

(南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095)

摘要:以江苏省丰县大沙河果园及周边地区 35 个果园的富士苹果 (*Malus pumila* Mill) 为研究材料,测定果实 7 个品质特性和果实矿质元素含量,利用相关分析和通径分析,筛选影响果实品质的关键矿质元素,为提高苹果果实品质、减少生理病害和合理施肥提供科学依据。结果发现,果实矿质元素对单果质量的直接影响大小顺序为铁(Fe) > 铜(Cu) > 钾(K) > 钙(Ca) > 锰(Mn) > 氮(N) > 锌(Zn) > 磷(P) > 镁(Mg);对果形指数的影响顺序为 P > K > Cu > Ca > Zn > N > Mg > Mn > Fe;对硬度的影响顺序为 Mg > K > Fe > Cu > Mn > Ca > N > Zn > P;对可滴定酸的影响顺序为 K > N > P > Cu > Mn > Fe > Mg > Ca > Zn;对可溶性固形物的影响顺序为 Mg > K > Cu > Ca > Mn > P > N > Zn > Fe;对可溶性糖的影响顺序为 Mg > P > Cu > Ca > Zn > Fe > Mn > K > N;对维生素 C 的影响顺序为 Mg > N > Zn > K > Cu > Mn > Fe > Ca > P。研究表明,苹果果实品质形成是各种矿质元素协同调控的结果,果实中矿质元素 N、P、K、Mg 等对果实品质形成的影响较大。

关键词:苹果;矿质营养;果实品质;相关分析;通径分析

中图分类号: S661.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)07-0146-06

我国是世界上苹果栽培面积最大的国家,2014 年我国苹果种植面积约为 222.15 万 hm^2 ,占世界苹果种植面积的 45% 以上^[1]。目前,我国苹果的产量居世界第 1 位,但是单位面积产量比较低,不到法国、南非等发达国家的 1/2,居世界第 39 位^[2]。我国苹果质量跟不上产业的发展,有关调查表明,2012 年我国苹果优果率为 40%,精品果占 10%,功能性精品果不到 2%^[3]。徐州丰县地区作为江苏富士苹果生产的主要基地,自 20 世纪 50 年代末黄河故道地区开始种植苹果^[4],在丰县农业经济中占有重要地位。苹果作为农民收入的重要来

源,长期以来,由于不均衡施肥等管理不到位,严重影响了苹果的产量与品质,制约着苹果产业的发展。因此,探讨富士苹果果实品质形成的关键矿质元素,可为合理施肥、减少生理病害提供科学依据,对改善苹果果实品质有重要意义。

张立新等对旱地苹果果实的研究表明,果实矿质营养不仅能反映果园土壤的肥力水平、吸收利用率和矿质营养状况,还能反映树木营养状况及果实品质情况,同时还与苹果生理病害密切相关^[5]。薛晓芳等对 23 种枣果实矿质元素含量的研究发现,同一种矿质元素在不同品种中的含量差异较大,各元素含量差异造成了果实品质差异^[6]。目前,许多学者对苹果营养诊断进行了研究^[7-10],但都是通过简单分析相关性,不能明确影响果实品质的关键营养元素,且受地区、品种及栽培管理水平等因素影响较大。通径分析能将 1 个相关系数根据其成因分成多个组成部分,更加清楚各个因素对效应产生的直接作用和间接作用,在农业科研方面多有应用^[11]。本试验采集了丰县 35 个果园的富士苹果,通过相关分析和通径分析,研究果实品质与矿质元素含量间的关系,以期筛选影响果实品质的关键矿

收稿日期:2017-12-11

基金项目:江苏省科技厅现代农业重点及面上项目(编号:BE2017367)。

作者简介:王磊彬(1991—),男,安徽阜阳人,硕士研究生,主要从事果树生理研究。E-mail:592788614@qq.com。

通信作者:渠慎春,博士,教授,主要从事果树生理研究。E-mail:qscnj@njau.edu.cn。

[16] 叶子飘. 光合作用对光和 CO_2 响应模型的研究进展[J]. 植物生态学报,2010,34(16):727-740.

[17] Coomes D A, Grubb P J. Colonization, tolerance, competition and seed - size variation within functional groups[J]. Trends in Ecology & Evolution,2003,18(6):283-291.

[18] 裴 斌,张光灿,张淑勇,等. 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报,2013,33(5):1386-1396.

[19] 李学孚,倪智敏,吴月燕,等. 盐胁迫对‘鄞红’葡萄光合特性及叶片细胞结构的影响[J]. 生态学报,2015,35(13):4436-4444.

[20] 姜丽丽,连秀芬,樊明寿. 细胞程序性死亡在植物适应逆境中的

意义[J]. 生命科学,2005,17(3):267-270.

[21] 李旭新,刘炳响,郭智涛,等. NaCl 胁迫下黄连木叶片光合特性及快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的变化[J]. 应用生态学报,2013,24(9):2479-2484.

[22] Massacci A, Nabiev S M, Pietrosanti L, et al. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas - exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging[J]. Plant Physiology and Biochemistry,2008,46(2):189-195.

[23] 赵丽英,邓西平,山 仑. 渗透胁迫对小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(7):1261-1264.

质元素,为果园合理施肥与优质生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料 with 处理

试验材料取自江苏省丰县地区 3 个乡(镇)的 35 个富士苹果生产果园,树龄为 15~25 年,株行距为 4 m×5 m。该地区地处暖温带半湿润季风气候区,四季分明,日照充足,年平均气温在 15℃左右,平均降水量约为 730 mm,无霜期达 200 d 左右^[12]。土壤为沙壤土,质地疏松,土层深厚,透气性强。土壤 pH 值达 8 以上,有机质含量为 10.25 g/kg,全氮(N)含量为 0.73 g/kg,全磷(P)含量为 0.83 g/kg,全钾(K)含量为 18.32 g/kg^[13]。

于 2015 年 10 月下旬、2016 年 10 月下旬果实成熟期,每个果园随机选取 4 株树,在树冠中上部东、南、西、北 4 个方位随机采集 4 个果实,每个果园取 16 个果实,带回实验室测定分析^[18,14]。

1.2 指标测定

1.2.1 果实品质的测定 果实的单果质量用百分之一电子天平测定。果实纵、横径用数显游标卡尺测定,果形指数=纵径/横径;硬度和可溶性固形物含量分别用 GY-4 型数显式水果硬度计和手持式糖度计 PAL-1 直接测定,选取每个果实对称的 2 点进行测定^[15];果实可滴定酸含量采用 NaOH 滴

定法^[16]测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法^[17]测定;维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[15]测定。

1.2.2 果实矿质元素的测定 果实采集并清洗后,取每个样本所有果实的部分果样放在信封中,于烘箱中 105℃恒温杀青 10 min,再降至 80℃烘干,用不锈钢粉碎机粉碎,存放在自封袋中,于阴凉干燥处保存^[18]。果实全氮含量经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,用 AA3 连续流动分析仪^[19]测定。果实中磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、锰(Mn)、镁(Mg)、铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)元素含量经 HNO₃-HClO₄ 混酸消煮,用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP)测定^[20-21]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010、SPSS 20.0 软件及回归相关多元分析(2017)方法进行数据统计、相关性分析和通径分析。

2 结果与分析

2.1 不同果园富士苹果果实品质与矿质元素营养分析 如表 1 所示,因丰县 35 个不同富士苹果果园在施肥管理方面的差异性,导致果实中维生素 C 含量、糖酸比、固酸比、可滴定酸含量及可溶性糖含量的变异系数很大,而单果质量、果形指数、硬度和可溶性固形物含量的变异系数较小。这说明果园管理对果实维生素 C 含量、糖酸比、可溶性糖含量等品质具有较大的影响。

表 1 丰县不同富士苹果果园果实品质的差异分析

项目	单果质量 (g)	果形指数	硬度 (kg/cm ²)	可滴定酸含量 (%)	可溶性固形物含量 (%)	可溶性糖含量 (%)	维生素 C 含量 (mg/100 g)	固酸比	糖酸比
均值	275.30	0.89	0.70	0.21	13.07	8.89	5.60	63.77	44.21
极大值	327.70	0.93	0.87	0.25	15.34	11.88	8.03	93.58	66.45
极小值	231.46	0.83	0.57	0.16	11.64	6.68	2.62	48.57	33.57
标准差	22.86	0.02	0.07	0.03	0.90	1.23	1.23	9.82	7.85
变异系数(%)	8.30	2.25	10.00	14.29	6.89	13.84	21.96	15.40	17.76

如表 2 所示,丰县 35 个不同果园的果实矿质元素含量因不同的管理水平存在一定的差异。果实矿质元素变异系数在 9.51%~46.57%之间,变化很大,且以 Zn 和 Fe 的变异系数

较大,Mn 次之,Mg 最小。大量矿质元素中,K 含量最高,其次是 N、Ca、P、Mg 元素含量最低。微量矿质元素中,Fe 含量最高,Cu 含量次之,Mn 和 Zn 含量相对较低。

表 2 丰县不同富士苹果果园果实矿质元素含量的差异分析

项目	N 含量 (g/kg)	P 含量 (mg/kg)	K 含量 (g/kg)	Ca 含量 (mg/kg)	Mg 含量 (mg/kg)	Fe 含量 (mg/kg)	Mn 含量 (mg/kg)	Cu 含量 (mg/kg)	Zn 含量 (mg/kg)
均值	2.22	362.52	8.32	507.49	331.17	123.67	3.94	7.95	3.50
极大值	2.86	470.29	14.16	735.09	397.50	288.82	6.74	13.94	7.62
极小值	1.36	239.33	5.19	249.27	249.53	46.16	1.73	4.96	1.45
标准差	0.33	60.32	1.99	131.58	31.48	51.86	1.23	2.05	1.63
变异系数(%)	14.86	16.64	23.92	25.93	9.51	41.93	31.22	25.79	46.57

2.2 富士苹果果实矿质元素与品质之间的相关性分析

由表 3 可知,果实矿质元素之间相互影响,其中果实中 N、P 这 2 种元素与 Mg 呈显著正相关($P<0.05$);K 与 Mg、Fe、Cu 呈极显著正相关($P<0.01$);Ca 与 Mg、Fe 呈显著正相关($P<0.05$),Mg 与 Cu 呈极显著正相关($P<0.01$)。

由表 4 可知,P 与可溶性糖、果形指数呈显著或极显著负相关;K、Mg、Mn 与硬度呈显著或极显著负相关;K 和 Mg 对可溶性固形物具有显著或极显著的抑制作用;P、Mg、Cu 对可溶性糖具有显著的抑制作用。相反,K、Cu 对可滴定酸、维生素 C 具有明显的促进作用。

2.3 富士苹果矿质营养元素与果实品质的通径分析 直接通径系数表示自变量对目标变量直接影响效应的程度。间接通径系数表示某一因子通过影响其他因子对目标变量的影响程度。因此,果实矿质营养元素除了能直接影响果实品质外,还可以通过其他矿质元素间接影响果实品质。通径系数的绝对值大小表示果实矿质元素对单果质量的影响程度。

由表 5 可知,对单果质量直接影响大小顺序为 Fe (0.363 7)>Cu(-0.342 6)>K(0.306 9)>Ca(-0.262 4)>Mn(0.244 4)>N(-0.189 7)>Zn(-0.137 3)>P(-0.104 9)>Mg(-0.050 0)。其中 Mn、K、Fe 对单果质量

表 3 富士苹果果实矿质元素含量的相关性分析

元素	相关系数								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
N	1.000								
P	0.072	1.000							
K	0.302	0.310	1.000						
Ca	0.043	0.213	0.090	1.000					
Mg	0.362 *	0.346 *	0.455 **	0.372 *	1.000				
Fe	0.198	0.075	0.430 **	0.379 *	0.248	1.000			
Mn	0.108	0.140	-0.035	-0.076	0.193	0.026	1.000		
Cu	0.061	0.142	0.718 **	0.143	0.446 **	0.248	0.038	1.000	
Zn	0.068	0.087	-0.161	0.178	0.040	-0.012	0.246	0.162	1.000

注:表中“*”代表0.05 水平显著相关,“**”代表0.01 水平显著相关。表4 同。

表 4 富士苹果果实矿质元素与品质的相关性分析

元素	相关系数						
	单果质量	果形指数	硬度	可滴定酸	可溶性固形物	可溶性糖	维生素 C
N	-0.033	-0.181	-0.173	-0.101	-0.292	-0.059	-0.299
P	-0.189	-0.593 **	-0.238	-0.037	-0.233	-0.313 *	-0.036
K	0.102	0.064	-0.394 *	0.482 **	-0.357 *	-0.295	0.339 *
Ca	-0.204	-0.030	-0.014	-0.090	-0.099	-0.072	-0.102
Mg	-0.091	-0.140	-0.475 **	0.168	-0.585 **	-0.368 *	-0.195
Fe	0.282	0.115	-0.326	0.024	-0.160	-0.043	0.045
Mn	0.118	-0.066	-0.354 *	-0.111	-0.221	-0.036	-0.115
Cu	-0.096	0.164	-0.205	0.465 **	-0.176	-0.338 *	0.331 *
Zn	-0.018	-0.125	-0.138	-0.205	-0.018	-0.172	-0.211

表 5 富士苹果果实矿质营养与单果质量的通径分析

作用因子	通径系数										
	直接作用	通过 N	通过 P	通过 K	通过 Ca	通过 Mg	通过 Fe	通过 Mn	通过 Cu	通过 Zn	间接作用
N	-0.189 7		-0.008 8	0.077 9	-0.012 8	-0.016 8	0.084 3	0.026 8	0.026 0	-0.013 4	0.163 2
P	-0.104 9	-0.015 9		0.082 7	-0.062 0	-0.018 8	0.002 5	0.039 9	-0.054 6	-0.046 7	-0.072 9
K	0.306 9	-0.048 1	-0.028 3		0.008 1	-0.022 4	0.106 8	0.009 7	-0.235 4	0.003 7	-0.205 9
Ca	-0.262 4	-0.009 2	-0.024 8	-0.009 5		-0.017 0	0.121 4	0.005 9	-0.015 7	-0.008 3	0.042 8
Mg	-0.050 0	-0.063 8	-0.039 3	0.137 7	-0.089 3		0.079 8	0.062 9	-0.135 3	0.002 9	-0.044 4
Fe	0.363 7	-0.044 0	-0.000 7	0.090 1	-0.087 6	-0.011 0		0.004 4	-0.047 1	0.005 8	-0.090 1
Mn	0.244 4	-0.020 8	-0.017 1	0.012 2	-0.006 3	-0.012 9	0.006 5		-0.042 4	-0.039 6	-0.120 4
Cu	-0.342 6	0.014 4	-0.016 7	0.210 8	-0.012 0	-0.019 7	0.049 9	0.030 3		-0.018 7	0.238 3
Zn	-0.137 3	-0.018 5	-0.035 7	-0.008 4	-0.015 8	0.001 0	-0.015 4	0.070 6	-0.046 6		-0.068 8

的影响为正值,Cu、Ca、N、Zn、P、Mg 对单果质量的影响为负值。对果实单果质量间接影响最大的是 Cu(0.238 3),主要通过 K(0.210 8)影响单果质量;其次是 K(-0.205 9),主要通过 Cu(-0.235 4)影响单果质量。由此可知,对果实单果质量影响较大的矿质元素有 Fe、Cu、K。

表 6 中富士苹果果实矿质元素与果形指数的通径分析表明,直接影响果形指数的矿质元素主要是 N、P、K、Cu、Ca、Zn,影响果形指数最大的因子为 P(-0.602 5),且为负值;其次为 K、Cu、Ca,分别为 0.188 1、0.166 9、0.154 2,为正值。Mg、Mn、Fe 对果形指数的直接影响效应较小。Ca(C4)通过间接作用对果形指数的影响最大,间接通径系数为 -0.194 7,其次为 Zn(C9)、Mn(C7)、K(C3)。由此可知,对果形指数影响较大的矿质元素为 P、K、Cu、Ca、Zn 和 N。

表 7 中对富士苹果果实矿质元素与硬度的通径分析表

明,直接影响硬度的矿质元素通径系数排序为 Mg>K>Fe>Cu>Mn>Ca>N>Zn>P。其中,矿质元素 Mg、K、Fe、Zn 和 Mn 对果实硬度的直接影响为负值,N、Ca、Cu 为对果实硬度的影响为正值,Mg 对果实硬度的直接影响最大。间接作用表明,对果实硬度间接影响较大的因子有 Cu(-0.472 0)、N(-0.336 6)、Ca(-0.234 3)、P(-0.200 5)。由此可知,对果实硬度影响较大的矿质元素为 Mg、K、Fe、N、Cu 和 Mn。

表 8 中对富士苹果果实矿质元素与可滴定酸的通径分析表明,对可滴定酸直接影响较大的果实矿质元素有 K、N、Mn、Cu、Fe 和 P。直接通径系数显示,影响最大的因子为 K(0.487 8),其次为 N(-0.207 6)、P(-0.179 5)、Cu(0.142 5)、Mn(-0.139 7)、Fe(-0.131 6)。K 和 Cu 对可滴定酸的直接作用为正效应,N、P、Mn、Fe 对果实可滴定酸的直接作用为负效应。Cu 和 P 对可滴定酸的间接作用影响较

表 6 富士苹果果实矿质营养与果形指数的通径分析

作用因子	通径系数										
	直接作用	通过 N	通过 P	通过 K	通过 Ca	通过 Mg	通过 Fe	通过 Mn	通过 Cu	通过 Zn	间接作用
N	-0.132 0		-0.050 5	0.047 7	0.007 5	-0.033 3	-0.005 2	0.009 1	-0.012 7	-0.013 8	-0.051 2
P	-0.602 5	-0.011 1		0.050 7	0.036 5	-0.037 1	-0.000 2	0.013 5	0.026 6	-0.048 1	0.030 8
K	0.188 1	-0.033 5	-0.162 3		-0.004 7	-0.044 4	-0.006 6	0.003 3	0.114 7	0.003 9	-0.129 6
Ca	0.154 2	-0.006 4	-0.142 5	-0.005 8		-0.033 7	-0.007 5	0.002 0	0.007 7	-0.008 5	-0.194 7
Mg	-0.098 9	-0.044 4	-0.225 9	0.084 4	0.052 5		-0.004 9	0.021 3	0.065 9	0.003 0	-0.048 1
Fe	-0.022 4	-0.030 6	-0.004 2	0.055 2	0.051 5	-0.021 7		0.001 5	0.022 9	0.006 0	0.080 6
Mn	0.082 8	-0.014 5	-0.098 4	0.007 5	0.003 7	-0.025 4	-0.000 4		0.020 7	-0.040 9	-0.147 7
Cu	0.166 9	0.010 0	-0.096 0	0.129 2	0.007 1	-0.039 0	-0.003 1	0.010 2		-0.019 3	-0.000 9
Zn	-0.141 5	-0.012 9	-0.205 0	-0.005 1	0.009 3	0.002 1	0.000 9	0.023 9	0.022 7		-0.164 1

表 7 富士苹果果实矿质营养与硬度的通径分析

作用因子	通径系数										
	直接作用	通过 N	通过 P	通过 K	通过 Ca	通过 Mg	通过 Fe	通过 Mn	通过 Cu	通过 Zn	间接作用
N	0.158 4		-0.005 3	-0.078 3	0.011 5	-0.143 8	-0.064 5	-0.027 5	-0.020 9	-0.007 8	-0.336 6
P	-0.062 7	0.013 3		-0.083 1	0.055 8	-0.160 3	-0.001 9	-0.041 0	0.043 9	-0.027 2	-0.200 5
K	-0.308 5	0.040 2	-0.016 9		-0.007 3	-0.191 8	-0.081 8	-0.010 0	0.189 1	0.002 2	-0.076 3
Ca	0.236 1	0.007 7	-0.014 8	0.009 5		-0.145 5	-0.092 9	-0.006 1	0.012 6	-0.004 8	-0.234 3
Mg	-0.427 4	0.053 3	-0.023 5	-0.138 4	0.080 4		-0.061 1	-0.064 5	0.108 7	0.001 7	-0.043 4
Fe	-0.278 5	0.036 7	-0.000 4	-0.090 6	0.078 8	-0.093 8		-0.004 5	0.037 8	0.003 4	-0.032 6
Mn	-0.250 9	0.017 4	-0.010 2	-0.012 2	0.005 7	-0.109 9	-0.005 0		0.034 1	-0.023 0	-0.103 1
Cu	0.275 3	-0.012 0	-0.010 0	-0.211 9	0.010 8	-0.168 7	-0.038 2	-0.031 1		-0.010 9	-0.472 0
Zn	-0.079 8	0.015 5	-0.021 3	0.008 4	0.014 2	0.008 9	0.011 8	-0.072 4	0.037 5		0.002 6

表 8 富士苹果果实矿质营养与可滴定酸含量的通径分析

作用因子	通径系数										
	直接作用	通过 N	通过 P	通过 K	通过 Ca	通过 Mg	通过 Fe	通过 Mn	通过 Cu	通过 Zn	间接作用
N	-0.207 6		-0.015 0	0.123 8	-0.002 6	0.032 9	-0.030 5	-0.015 3	-0.010 8	0.002 5	0.085 0
P	-0.179 5	-0.017 4		0.131 4	-0.012 8	0.036 6	-0.000 9	-0.022 8	0.022 7	0.008 9	0.145 7
K	0.487 8	-0.052 7	-0.048 4		0.001 7	0.043 9	-0.038 6	-0.005 5	0.097 9	-0.000 7	-0.002 4
Ca	-0.054 2	-0.010 1	-0.042 5	-0.015 0		0.033 3	-0.043 9	-0.003 4	0.006 5	0.001 6	-0.073 5
Mg	0.097 7	-0.069 8	-0.067 3	0.218 9	-0.018 5		-0.028 9	-0.035 9	0.056 3	-0.000 5	0.054 3
Fe	-0.131 6	-0.048 1	-0.001 2	0.143 2	-0.018 1	0.021 4		-0.002 5	0.019 6	-0.001 1	0.113 2
Mn	-0.139 7	-0.022 8	-0.029 3	0.019 4	-0.001 3	0.025 1	-0.002 4		0.017 6	0.007 5	0.013 8
Cu	0.142 5	0.015 8	-0.028 6	0.335 1	-0.002 5	0.038 6	-0.018 1	-0.017 3		0.003 5	0.326 5
Zn	0.026 0	-0.020 3	-0.061 1	-0.013 3	-0.003 3	-0.002 0	0.005 6	-0.040 3	0.019 4		-0.115 3

大,通径系数分别为 0.326 5 和 0.145 7。Fe 对果实可滴定酸的间接作用为正值,Zn 对可滴定酸的间接作用为负值。从间接通径系数可知,果实中各个矿质元素主要是通过 K 对果实可滴定酸含量进行间接调控,K 元素是调节果实中可滴定酸的重要元素。综合以上分析可知,对果实可滴定酸的影响作用较大的矿质元素有 K、N、P 和 Cu。

表 9 中对富士苹果果实矿质元素与可溶性固形物的通径分析表明,对可溶性固形物直接影响较大的矿质元素有 Mg、K、Cu、Mn 和 Ca。直接通径系数大小顺序为 Mg(-0.557 8) > K(-0.258 9) > Cu(0.249 4) > Ca(0.108 4) > Mn(-0.101 9) > P(-0.041 3) > N(-0.033 2) > Zn(-0.021 9) > Fe(0.016 1),其中 Cu、Ca 和 Fe 的直接影响为正值,其余矿质元素对可溶性固形物的影响均为负值。果实矿质元素通过间接作用对可溶性固形物影响的比较明显,影响较大的排序为 Cu(-0.410 6) > N(-0.280 2) > P(-0.240 1) > Ca(-0.180 3) > Fe(-0.136 8) > Mn

(-0.136 6),Cu 主要通过 Mg 和 K 对可溶性固形物进行间接调控,N 通过 Mg 对可溶性固形物产生效应。由以上结果分析可知,对可溶性固形物影响较大的矿质元素有 Mg、K、Cu、N 和 P。

表 10 中对富士苹果果实矿质元素与可溶性糖的通径分析表明,对可溶性糖直接影响较大的矿质元素有 Mg(-0.329 9)、P(-0.247 4)、Cu(-0.183 8)、Ca(0.161 3)、Zn(-0.145 3)、Fe(0.141 4),对可溶性糖直接作用较大的 3 个元素 Mg、P、Cu 的影响效应均为负值。对可溶性糖影响作用较大的矿质元素因子有 K、Ca 和 Mn,间接通径系数分别为 -0.297 7、-0.141 2 和 -0.180 8,各个矿质元素的间接作用系数均为负值。K 主要通过 Cu 和 Mg 间接影响果实中的可溶性糖,Ca 主要通过 Mg 影响果实中可溶性糖。由此可知,影响果实可溶性糖的矿质营养元素主要为 K、Mn、Mg、P、Cu、Ca 和 Fe。

表 11 中对富士苹果果实矿质元素与维生素 C 的通径分

表 9 富士苹果果实矿质营养与可溶性固形物含量的通径分析

作用因子	通径系数										
	直接作用	通过 N	通过 P	通过 K	通过 Ca	通过 Mg	通过 Fe	通过 Mn	通过 Cu	通过 Zn	间接作用
N	-0.033 2		-0.003 5	-0.065 7	0.005 3	-0.187 7	0.003 7	-0.011 2	-0.019 0	-0.002 1	-0.280 2
P	-0.041 3	-0.002 8		-0.069 7	0.025 6	-0.209 1	0.000 1	-0.016 6	0.039 8	-0.007 4	-0.240 1
K	-0.258 9	-0.008 4	-0.011 1		-0.003 3	-0.250 3	0.004 7	-0.004 0	0.171 3	0.000 6	-0.100 5
Ca	0.108 4	-0.001 6	-0.009 8	0.008 0		-0.189 9	0.005 4	-0.002 5	0.011 4	-0.001 3	-0.180 3
Mg	-0.557 8	-0.011 2	-0.015 5	-0.116 2	0.036 9		0.003 5	-0.026 2	0.098 5	0.000 5	-0.029 7
Fe	0.016 1	-0.007 7	-0.000 3	-0.076 0	0.036 2	-0.122 4		-0.001 8	0.034 3	0.000 9	-0.136 8
Mn	-0.101 9	-0.003 6	-0.006 7	-0.010 3	0.002 6	-0.143 5	0.000 3		0.030 9	-0.006 3	-0.136 6
Cu	0.249 4	0.002 5	-0.006 6	-0.177 9	0.005 0	-0.220 2	0.002 2	-0.012 6		-0.003 0	-0.410 6
Zn	-0.021 9	-0.003 2	-0.014 1	0.007 0	0.006 5	0.011 7	-0.000 7	-0.029 4	0.034 0		0.011 8

表 10 富士苹果果实矿质营养与可溶性糖含量的通径分析

作用因子	通径系数										
	直接作用	通过 N	通过 P	通过 K	通过 Ca	通过 Mg	通过 Fe	通过 Mn	通过 Cu	通过 Zn	间接作用
N	-0.000 9		-0.020 7	0.018 4	0.007 9	-0.111 0	0.032 8	0.008 1	0.014 0	-0.014 2	-0.064 7
P	-0.247 4	-0.000 1		0.019 5	0.038 1	-0.123 7	0.001 0	0.012 1	-0.029 3	-0.049 4	-0.131 8
K	0.072 5	-0.000 2	-0.066 6		-0.005 0	-0.148 0	0.041 5	0.002 9	-0.126 3	0.004 0	-0.297 7
Ca	0.161 3	0.000 0	-0.058 5	-0.002 2		-0.112 3	0.047 2	0.001 8	-0.008 4	-0.008 8	-0.141 2
Mg	-0.329 9	-0.000 3	-0.092 8	0.032 5	0.054 9		0.031 0	0.019 0	-0.072 6	0.003 0	-0.025 3
Fe	0.141 4	-0.000 2	-0.001 7	0.021 3	0.053 8	-0.072 4		0.001 3	-0.025 2	0.006 1	-0.017 0
Mn	0.074 1	-0.000 1	-0.040 4	0.002 9	0.003 9	-0.084 8	0.002 5		-0.022 8	-0.042 0	-0.180 8
Cu	-0.183 8	0.000 1	-0.039 4	0.049 8	0.007 4	-0.130 2	0.019 4	0.009 2		-0.019 8	-0.103 5
Zn	-0.145 3	-0.000 1	-0.084 2	-0.002 0	0.009 7	0.006 9	-0.006 0	0.021 4	-0.025 0		-0.079 3

表 11 富士苹果果实矿质营养与维生素 C 的通径分析

作用因子	通径系数										
	直接作用	通过 N	通过 P	通过 K	通过 Ca	通过 Mg	通过 Fe	通过 Mn	通过 Cu	通过 Zn	间接作用
N	-0.335 9		0.003 9	0.052 7	-0.004 2	-0.143 6	-0.036 0	0.019 1	-0.014 8	-0.028 9	-0.151 8
P	0.046 9	-0.028 1		0.055 9	-0.020 2	-0.160 1	-0.001 1	0.028 5	0.031 0	-0.100 7	-0.194 8
K	0.207 5	-0.085 2	0.012 6		0.002 6	-0.191 6	-0.045 7	0.006 9	0.133 6	0.008 1	-0.158 7
Ca	-0.085 3	-0.016 4	0.011 1	-0.006 4		-0.145 4	-0.051 9	0.004 2	0.008 9	-0.017 9	-0.213 8
Mg	-0.427 0	-0.113 0	0.017 6	0.093 1	-0.029 0		-0.034 1	0.044 8	0.076 8	0.006 2	0.062 4
Fe	-0.155 6	-0.077 8	0.000 3	0.060 9	-0.028 5	-0.093 7		0.003 1	0.026 7	0.012 5	-0.096 5
Mn	0.174 3	-0.036 9	0.007 7	0.008 2	-0.002 1	-0.109 8	-0.002 8		0.024 1	-0.085 5	-0.197 1
Cu	0.194 5	0.025 5	0.007 5	0.142 6	-0.003 9	-0.168 5	-0.021 4	0.021 6		-0.040 3	-0.036 9
Zn	-0.296 1	-0.032 8	0.016 0	-0.005 6	-0.005 1	0.008 9	0.006 6	0.050 3	0.026 5		0.064 8

析表明,对果实维生素 C 含量影响较大的矿质元素有 N、K、Mg、Cu、Fe、Mn 和 Zn。直接通径系数的最大的矿质元素为 Mg (-0.427 0), 其次为 N (-0.335 9)、Zn (-0.296 1)、K (0.207 5)、Cu(0.194 5) 和 Mn(0.174 3), Mg、N、Zn 对果实维生素 C 的直接作用均为负值,K、Cu、Mn 的直接作用为正值。间接作用对果实维生素 C 的影响大小顺序为 Ca (-0.213 8) > Mn (-0.197 1) > P (-0.194 8) > K (-0.158 7) > N (-0.151 8)。间接作用于维生素 C 的重要矿质元素的通径系数均为负值。果实中的 Ca 主要通过 Mg 影响果实中的维生素。所以,影响果实中维生素 C 的主要矿质元素为 Mg、N、Zn、Ca。

3 讨论与结论

根据各矿质元素的功能及特性,生产上可以针对性地进行肥料配置,平衡施肥,以提高果树的产量和果实品质^[22]。

目前,对于果树矿质营养和果实品质间关系的研究,结果差异较大,不同砧木、同一品种不同树龄、不同地区、不同品种及不同生育期叶片矿质营养存在显著差异^[23-27]; Fallahi 等的研究表明,叶片矿质营养与果实品质的相关性不强,果实营养分析能扩充果树营养诊断^[28]。顾曼如等研究认为,Zn 与可溶性固形物呈负相关,与硬度和总酸呈正相关,K 与硬度呈负相关^[29]。宋少华等通过对陕西甜柿‘阳丰’果实矿质元素与品质指标的相关性及通径分析得出,N、P、K、Zn 和 Mn 是影响果实品质最主要的矿质元素^[14]。Fallahi 等认为,新红星苹果果实中 N 与果实硬度、可溶性固形物含量呈显著负相关,Ca 与果实硬度呈正相关^[28]。李宝江等通过对苹果果实矿质元素与果实品质及耐贮性关系的研究表明,Zn 与果实可溶性固形物呈极显著负相关;Ca、K 与果实硬度呈极显著正相关,而 Mn 和 Cu 相反^[30]。徐慧等对胶东半岛主要苹果产区果实矿质元素和果实品质的相关研究表明,果实中全 N、K 和 Fe 与

果肉硬度呈显著负相关,Cu 与果肉硬度和可溶性固形物呈显著负相关^[9]。

结合本试验相关分析结果表明:果形指数与 P 呈显著负相关;硬度、可溶性固形物与果实矿质元素呈负相关;可滴定酸和 K、Cu 呈极显著相关;可溶性固形物与 K 呈显著负相关,与 Mg 的相关性极显著;可溶性糖和 P、Mg、Cu 呈显著负相关;维生素 C 和 K、Cu 呈显著正相关。江苏丰县地区富士苹果果实矿质元素和品质的相关研究结果与徐慧等的研究结果基本符合。通径分析表明:果实矿质元素对单果质量直接影响大小顺序为 Fe > Cu > K > Ca > Mn > N > Zn > P > Mg;对果形指数影响的顺序为 P > K > Cu > Ca > Zn > N > Mg > Mn > Fe;对硬度影响的顺序为 Mg > K > Fe > Cu > Mn > Ca > N > Zn > P;对可滴定酸影响的顺序为 K > N > P > Cu > Mn > Fe > Mg > Ca > Zn;对可溶性固形物的影响顺序为 Mg > K > Cu > Ca > Mn > P > N > Zn > Fe;对可溶性糖的影响顺序为 Mg > P > Cu > Ca > Zn > Fe > Mn > K > N;对维生素 C 的影响顺序为 Mg > N > Zn > K > Cu > Mn > Fe > Ca > P。综上所述,果实中矿质元素 N、P、K、Mg 对果实品质的形成影响较大。这与张强等的研究结果^[8-9,14]存在一定的差异,不同地域土壤结构、气候环境因素等都有一定的差异。由此表明,江苏丰县地区富士苹果品质形成过程中受果实各种矿质元素协同调控,在生产过程中可增施 P、K、Cu、Mn,降低或控制 N 和 Mg 肥的施用量,以实现优质果品的生产。

参考文献:

- [1]智研咨询集团. 2015—2020 年中国苹果产业深度调研及市场专项调研报告: R304256 [R/OL]. (2015-01-31) [2017-12-01]. <http://www.chyxx.com/research/201501/304256.html>.
- [2]李嘉瑞,邹养军,任小林. 刍议中国苹果产业现代化[J]. 果树学报,2008,25(3):378-381.
- [3]苏梅. 我国苹果产业发展存在的问题及对策[J]. 现代农业科技,2013(2):306.
- [4]盛炳成. 提高黄河故道地区苹果品质的途径[J]. 江苏农业科学,1987(9):27-28.
- [5]张立新,张林森,李丙智,等. 旱地苹果矿质营养及其在生长发育中的作用[J]. 西北林学院学报,2007,22(3):111-115.
- [6]薛晓芳,赵爱玲,王永康,等. 不同枣品种果实矿质元素含量分析[J]. 山西农业科学,2016,44(6):741-745.
- [7]阎永齐,刘磊,刘吉祥,等. 中华猕猴桃叶果营养元素动态及其相关性[J]. 果树学报,2016,33(3):307-313.
- [8]张强,魏钦平,蒋瑞山,等. 富士苹果矿质营养含量与几个主要品质指标的相关性分析[J]. 园艺学报,2011,38(10):1963-1968.
- [9]徐慧,陈欣欣,王永章,等. ‘富士’苹果果实矿质元素与品质指标的相关性与通径分析[J]. 中国农学通报,2014,30(25):116-121.
- [10]Davenport J R, Peryea F J. Whole fruit mineral element composition and quality of harvested ‘Delicious’ apples[J]. Journal of Plant Nutrition,1990,13(6):701-711.

- [11]饶雅琪,罗光明,龚雨虹,等. 土壤营养元素与栀子苷含量的通径分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2016(20):23-27.
- [12]徐秀丽. 江苏丰县苹果郁闭园树形改造初报[J]. 中国果树,2013(3):38-41.
- [13]李建刚,侯宗海,张旭美,等. 江苏丰县苹果主产区果园土壤养分状况的调查[J]. 西北林学院学报,2015,30(2):65-69.
- [14]宋少华,刘勤,李曼,等. 甜柿果实矿质元素与品质指标的相关性及通径分析[J]. 果树学报,2016,33(2):202-209.
- [15]陈栋,江国良,谢红江. “次郎”甜柿果实套袋效应研究[J]. 西南农业学报,2006,19(3):490-493.
- [16]关军锋. 果品品质研究[M]. 石家庄:河北科学技术出版社,2000:423-425.
- [17]王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006:202-204.
- [18]张强,魏钦平,刘惠平,等. 苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J]. 中国农业科学,2011,44(8):1654-1661.
- [19]张英利,许安民,尚浩博,等. AA3 型连续流动分析仪测定土壤和植物全氮的方法研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(10):128-132.
- [20]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:152-177.
- [21]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:146-578.
- [22]黄丽萍,张倩茹,尹蓉,等. 矿质营养元素与果树生长发育的关系[J]. 湖北农业科学,2017,56(4):601-602,607.
- [23]Bould C, Parfitt R I. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruit crops. X. Magnesium and phosphorus and culture experiment with Apple[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture,1973,24(2):175-185.
- [24]Haas A R, Halmar F F. Chemical relationship between scion and stock in citrus[J]. Plant Physiology,1929,4(1):113-121.
- [25]Sanz A, Monerri C, González - Ferrer J, et al. Changes in carbohydrates and mineral elements in *Citrus* leaves during flowering and fruit set[J]. Physiologia Plantarum,1987,69(1):93-98.
- [26]Buwalda J G, Smith G S. Accumulation and partitioning of dry matter and mineral nutrients in developing kiwifruit vines[J]. Tree Physiology,1987,3(3):295-307.
- [27]Linus U O, Teshome T. Fruit growth and mineral element accumulation in pacific rose? Apple in relation to orchard management factors and calyx - end splitting[J]. Journal of Plant Nutrition,2000,23(8):1079-1093.
- [28]Fallahi E, Conway W S, Hickey K D, et al. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples[J]. HortScience; a Publication of the American Society for Horticultural Science,1997,32(5):831-835.
- [29]顾曼如,束怀瑞,曲桂敏,等. 红星苹果果实的矿质元素含量与品质关系[J]. 园艺学报,1992,19(4):301-306.
- [30]李宝江,林桂荣,刘凤君. 矿质元素含量与苹果风味品质及耐贮性的关系[J]. 果树科学,1995,12(3):141-145.