

黄海,段军娜,刘荣,等.金煌芒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,2022,50(19):197-203.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.19.030

金煌芒果果实矿质元素与品质的相关性及通径分析

黄海¹,段军娜¹,刘荣¹,党志国²,朱敏²,刘清国¹,彭杨¹,朱文华¹,龚德勇¹

(1. 贵州省亚热带作物研究所,贵州兴义 562400; 2. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所,海南海口 571101)

摘要:通过探究果实矿质元素含量与品质指标的关系,以期筛选出影响芒果品质的主要矿质元素,为芒果产量及品质的提升提供依据。以金煌芒为研究对象,采用相关性分析和通径分析研究 10 种矿质元素与 7 个品质指标之间的关系。相关性分析结果表明,K 含量与可溶性糖含量相关性最大;Mg 含量与维生素 C 含量相关性最大。通径分析结果表明,单果质量受 N、Zn 和 Ca 含量较大的负向直接作用,受 K 和 Cu 含量较大的正向直接作用;硬度受 K、Mg 和 Cu 含量负向直接作用,受 Ca 含量正向直接作用;可食率受 K 和 Cu 含量正向直接作用;维生素 C 含量受 B、Mg 和 Ca 含量的正向直接作用;可溶性糖含量受 N 和 P 含量的负向直接作用,受 Mg 和 Cu 含量的正向直接作用;可滴定酸含量受 K 含量负向直接作用,受 N、Zn 和 Cu 含量正向直接作用;糖酸比受 N、Zn、Ca 和 Mn 含量负向直接作用,受 K 的正向直接作用。N、K、Ca、Mg、Cu 和 Zn 等元素为影响金煌芒果果实品质的主要元素。生产中应增加果实中 K、Mg 和 Cu 的含量,降低 N、Ca 和 Zn 的含量,从而实现芒果产量和品质的提升。

关键词:芒果;矿质元素;品质;相关性分析;通径分析

中图分类号:S667.701 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)19-0197-07

果实品质是芒果重要的商品属性,直接决定其市场竞争力的大小。芒果果实品质受多种因素影响^[1-2],其中,果实矿质元素的供应是较为重要的因素之一。作为果实品质的物质基础,果实中矿质元素的种类和含量影响着果实品质的形成,适宜的元素含量可起到改善果实品质的效果^[3-4]。如苹果果实中 Mg 含量升高可增加其可溶性糖的含量^[5],Fe 含量升高可增加其可溶性固形物的占比^[6]。因此,探讨芒果果实矿质元素对果实品质的影响,筛选出决定其品质优劣的主要矿质元素,对实现芒果的优质高效生产具有重要意义。

已有研究主要采用相关性分析来确定矿质元素对品质指标的影响^[6-8]。但随着研究的不断深入,研究人员发现相关性分析虽反映了两者间的关联性,却无法明确各元素对果实品质的作用方式和

大小。通径分析在相关性分析的基础上,将相关系数分解为直接和间接通径系数,分别反映了矿质元素对品质的直接和间接作用^[9],同时,通径系数的绝对值反映了作用大小^[10],从而明确了各因素对品质的影响方式及程度。近年来该方法在许多经济果树上已有相关研究应用。在甜柿上的研究表明,甜柿果实的可溶性固形物受果实中 N 的直接负作用,维生素 C 含量受 P 的负向直接作用最大,受 Ca 的正向直接作用最大^[10-11];在苹果上的研究表明,苹果的单果质量受 P 的正向直接作用最大,可溶性固形物受 N 的负向直接作用最大,受 P 的正向直接作用最大,可滴定酸受 K 的正向直接作用最大,受 Mn 的负向直接作用最大^[12];在梨上的研究发现,可溶性糖、可滴定酸和维生素 C 受 N 的正向直接作用最大,而糖酸比受 N 的负向直接作用最大^[13]。

目前,矿质元素对芒果品质影响的研究主要集中在肥料的施用类型及用量^[14-18]等方面,而关于果实矿质元素与品质的关系鲜见报道。本研究以贵州芒果主产区 18 个果园内的金煌芒为研究对象,采用相关性和通径分析探究果实内 10 种矿质元素对金煌芒果 7 个品质指标的作用方式及大小,从而明确影响果实品质的主要矿质元素,旨在为芒果产量品质提升的施肥措施提供依据。

收稿日期:2021-12-27

基金项目:贵州省农业科学院项目(编号:“两江一河”热作专项子项 2020-05);贵州省科技支撑计划[编号:黔科合支撑(2020)1Y014 号];贵州省农业科学院精品水果专项(编号:[2021]01);贵州省黔西南州科学技术局项目(编号:2021-1-16)。

作者简介:黄海(1987—),男,贵州兴义人,硕士,助理研究员,主要从事热带果树栽培育种研究。E-mail:775186152@qq.com。

通信作者:龚德勇,副研究员,主要从事热带果树栽培育种。E-mail:731377682@qq.com。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试芒果品种为金煌芒,采摘于贵州省芒果产区的 18 个果园,其中兴义市南盘江镇产区 7 个,贞丰县鲁容乡产区 6 个,望谟油迈乡产区 5 个。园内土壤以砂页岩黄壤为主,树龄 6 ~ 7 年,管理水平中等。

1.2 试验方法

果实采摘:2020 年、2021 年 8 月,采用五点法选取各果园 5 株树,于树体东南西北方向各采摘无病害果实 1 个,重复 3 次,每个果园共 60 个果。常温条件下放至成熟后进行果实品质和矿质元素含量的测定。

品质指标测定:称取采摘芒果的质量,取平均值作为单果质量;用 GY-3 型果实硬度计测定果实同一部位的硬度;用 2,6-二氯靛酚滴定法测定其维生素 C 含量;用蒽酮比色法测定可溶性糖含量;用酸碱滴定法测定果实总酸度,并计算糖酸比。

果实矿质元素含量测定:用凯氏定氮法测定全氮含量;用钒钼黄比色法测定磷含量;用火焰光度计法测定钾含量;用原子吸收分光光度法测定钙、镁、铁、锰、锌、铜、硼等的含量^[7,13]。

1.3 数据处理

研究数据采用 2020 年 2021 年的平均值,用 SPSS 25.0 进行相关性分析,用 Excel 2010 和 SPSS 25.0 软件进行通径分析。

2 结果与分析

2.1 金煌芒果实品质与果实矿质元素

18 个芒果园 2 年的果实品质指标均值见表 1。从表 1 可知,果实各品质指标中变异系数最大的是维生素 C 含量,为 47.03%,变异系数最小的是可食率,仅 4.07%。此外,可溶性糖含量的变异系数为 15.00%,而可滴定酸含量的变异系数高达 41.85%,由此可知,可滴定酸含量是引起金煌芒果实糖酸品质差异的主要原因。

表 1 金煌芒果实主要品质性状

项目	单果质量 (g)	硬度 (kg/cm ²)	可食率 (%)	维生素 C 含量 (mg/100 g)	可溶性糖含量 (mg/g)	可滴定酸含量 (g/kg)	糖酸比
平均值	838.26	2.81	79.30	11.31	126.87	1.93	76.82
最大值	1 089.40	4.47	84.51	26.18	159.13	3.41	139.59
最小值	632.80	2.07	74.15	6.72	95.63	0.74	34.73
标准差	135.02	0.61	3.23	5.32	19.02	0.81	31.52
变异系数	16.11%	21.62%	4.07%	47.03%	15.00%	41.85%	41.03%

由表 2 可知,N、P、K 等大量元素含量的变异系数介于 26.84% ~ 34.20% 之间。中微量元素中 Ca 含量的变异系数为 21.93%,变异程度小于大量元素,这与土壤中含有大量的钙元素有关。其他元素

含量的变异系数介于 33.98% ~ 74.85% 之间,变异程度大于大量元素,其中 Cu 含量的变异程度最大,这主要是由于生产中注重补充大量元素,而缺少中微量元素肥料的补充而引起的。

表 2 金煌芒果实的矿质元素含量

矿质元素	N 含量 (g/kg)	P 含量 (g/kg)	K 含量 (g/kg)	Ca 含量 (g/kg)	Mg 含量 (g/kg)	Fe 含量 (mg/kg)	Mn 含量 (mg/kg)	Zn 含量 (mg/kg)	Cu 含量 (mg/kg)	B 含量 (mg/kg)
平均值	4.11	1.14	5.52	1.38	0.75	142.47	10.55	28.76	5.84	12.12
最大值	7.14	2.00	7.88	1.92	1.88	463.56	24.94	64.18	19.70	19.49
最小值	2.44	0.73	3.19	0.92	0.37	72.28	2.00	6.16	2.06	6.33
标准差	1.41	0.35	1.48	0.30	0.40	88.28	7.13	15.57	4.37	4.12
变异系数	34.20%	30.31%	26.84%	21.93%	53.29%	61.96%	67.55%	54.15%	74.85%	33.98%

2.2 金煌芒果实矿质元素含量与品质的相关性分析

由表 3 可知,金煌芒果实的 K 含量与可溶性糖含量呈显著负相关($P < 0.05$,下同),相关系数为

-0.572;维生素 C 含量与 Ca 和 Mg 的含量呈极显著正相关($P < 0.01$,下同),相关系数分别为 0.602、0.666。其他元素含量与果实品质指标间的相关性未达到显著水平。

表 3 金煌芒果实矿质元素含量与品质的相关性

指标	相关系数									
	N 含量	P 含量	K 含量	Ca 含量	Mg 含量	Fe 含量	Mn 含量	Zn 含量	Cu 含量	B 含量
单果质量	-0.296	-0.135	0.064	0.098	0.153	-0.155	-0.209	0.223	-0.110	0.050
硬度	-0.080	-0.123	-0.453	0.254	0.229	-0.072	-0.216	0.066	0.225	-0.359
可食率	-0.067	0.270	0.414	0.161	-0.12	0.202	-0.009	0.109	-0.061	-0.115
维生素 C 含量	-0.165	-0.170	-0.405	0.602 **	0.666 **	-0.246	-0.445	0.305	0.302	-0.301
可溶性糖含量	-0.308	-0.454	-0.572 *	-0.173	0.106	0.095	0.164	-0.078	0.191	-0.007
可滴定酸含量	0.214	0.061	-0.178	0.163	0.092	-0.147	0.107	-0.053	0.224	-0.059
糖酸比	-0.419	-0.137	0.004	-0.078	0.059	0.201	-0.025	-0.122	-0.195	0.017

注：*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

2.3 金煌芒果实矿质元素含量与品质的通径分析

由表 4 可知,各元素对单果质量直接作用的大小顺序为 N 含量(-0.972) > K 含量(0.851) > Cu 含量(0.667) > Zn 含量(-0.594) > Ca 含量(-0.405) > P 含量(-0.370) > B 含量(0.30.7) > Fe 含量(-0.252) > Mn 含量(-0.089) > Mg 含量

(0.028),其中 N 具有最大的直接作用,而 Mn 和 Mg 的直接贡献小。同时,K 对单果质量的间接影响作用最大(-0.786),其次为 Cu 含量(-0.777)、N 含量(0.676)、Ca 含量(0.503)和 Zn 含量(0.385),其他元素的间接作用相对较小。由此表明,主要影响单果质量的元素为 N、K、Cu、Zn、Ca。

表 4 金煌芒果实矿质元素含量与单果质量的通径分析含量

作用因子	直接通径系数	间接通径系数										间接通径系数之和
		通过 N 含量	通过 P 含量	通过 K 含量	通过 Ca 含量	通过 Fe 含量	通过 Mg 含量	通过 Zn 含量	通过 Mn 含量	通过 Cu 含量	通过 B 含量	
N 含量	-0.972		-0.142	0.297	0.126	-0.012	0.081	0.061	0.009	0.297	-0.040	0.676
P 含量	-0.370	-0.373		0.462	0.000	-0.011	0.034	-0.060	0.013	0.133	0.037	0.234
K 含量	0.851	-0.339	-0.201		-0.019	-0.013	0.051	-0.092	0.011	-0.283	0.100	-0.786
Ca 含量	-0.405	0.302	0.000	0.040		0.018	0.104	0.248	-0.022	-0.067	-0.119	0.503
Mg 含量	0.028	0.415	0.145	-0.385	-0.264		0.053	0.292	-0.032	0.084	-0.183	0.125
Fe 含量	-0.252	0.313	0.049	-0.172	0.166	-0.006		-0.194	0.012	-0.154	0.082	0.097
Zn 含量	-0.594	0.099	-0.037	0.132	0.169	-0.014	-0.082		0.067	-0.151	0.203	0.385
Mn 含量	-0.089	0.093	0.056	-0.101	-0.098	0.010	0.033	0.447		-0.023	-0.104	0.312
Cu 含量	0.667	-0.433	-0.074	-0.362	0.041	0.004	0.058	0.135	0.003		-0.150	-0.777
B 含量	0.307	0.126	-0.045	0.277	0.158	-0.017	-0.068	-0.393	0.030	-0.326		-0.257

由表 5 可知,对果实硬度直接贡献最大的矿质元素为 K (-1.046),其次是 Ca (0.518)、Mg (-0.508)、Cu (-0.463),而 Mn (-0.071) 和 Zn (0.020)的直接作用较小。间接通径系数表明,Mg 对果实硬度的间接作用最大,系数为 0.738,其次为 Cu(0.688)、K(0.592),而 Ca 的间接作用较小,表明 Ca 对果实硬度的影响主要为直接正向作用。由此可知,主要影响果实硬度的元素为 K、Ca、Mg、Cu。

由表 6 可知,各元素含量对金煌芒可食率直接作用的大小顺序为 K (1.306) > Cu (0.979) > N (-0.745) > Mg (-0.571) > B (-0.529) > Fe (0.517) > Mn(0.444) > P(-0.410) > Ca(0.393) >

Zn(0.374),其中 K 和 Cu 的正向作用均达到显著水平。此外,K 和 Cu 对可食率的间接通径系数分别为 -0.893 和 -1.041,表明这 2 种元素对可食率的间接影响较大。因此,K、Cu 为影响可食率的主要元素。

由表 7 可知,对金煌芒维生素 C 含量直接贡献较大的元素为 B (0.719)、Ca (0.662) 和 Mg (0.499),且均为正向作用,P 和 Mn 的直接作用较小。间接通径系数表明,B 对维生素 C 的间接作用最大,间接通径系数为 -1.020,而 Ca 和 Mg 的间接通径系数较小,分别为 -0.059 和 0.167,表明 Ca 和 Mg 主要是通过直接作用来影响果实的维生素 C 含

表 5 金煌芒果实矿质元素与果实硬度的通径分析结果

作用因子	直接通径系数	间接通径系数										间接通径系数之和
		通过 N 含量	通过 P 含量	通过 K 含量	通过 Ca 含量	通过 Fe 含量	通过 Mg 含量	通过 Zn 含量	通过 Mn 含量	通过 Cu 含量	通过 B 含量	
N 含量	0.257		0.099	-0.365	-0.161	0.217	0.027	-0.002	0.007	-0.206	0.047	-0.337
P 含量	0.258	0.099		-0.568	0.001	0.200	0.011	0.002	0.011	-0.092	-0.044	-0.381
K 含量	-1.046	0.090	0.140		0.024	0.230	0.017	0.003	0.008	0.197	-0.117	0.592
Ca 含量	0.518	-0.080	0.000	-0.049		-0.331	0.035	-0.008	-0.017	0.047	0.140	-0.263
Mg 含量	-0.508	-0.110	-0.101	0.473	0.337		0.018	-0.010	-0.026	-0.058	0.215	0.738
Fe 含量	-0.085	-0.083	-0.034	0.211	-0.213	0.106		0.007	0.009	0.107	-0.097	0.013
Zn 含量	0.020	-0.026	0.026	-0.162	-0.216	0.249	-0.028		0.053	0.105	-0.239	-0.237
Mn 含量	-0.071	-0.025	-0.039	0.124	0.126	-0.183	0.011	-0.015		0.016	0.123	0.138
Cu 含量	-0.463	0.114	0.051	0.445	-0.052	-0.064	0.020	-0.005	0.002		0.177	0.688
B 含量	-0.361	-0.033	0.031	-0.340	-0.202	0.303	-0.023	0.013	0.024	0.226		0.000

表 6 金煌芒果实矿质元素含量与可食率的通径分析结果

作用因子	直接通径系数	间接通径系数										间接通径系数之和
		通过 N 含量	通过 P 含量	通过 K 含量	通过 Ca 含量	通过 Fe 含量	通过 Mg 含量	通过 Zn 含量	通过 Mn 含量	通过 Cu 含量	通过 B 含量	
N 含量	-0.745		-0.157	0.456	-0.122	0.244	-0.166	-0.038	-0.043	0.436	0.069	0.677
P 含量	-0.410	-0.286		0.709	0.000	0.224	-0.069	0.038	-0.067	0.195	-0.065	0.681
K 含量	1.306 *	-0.260	-0.223		0.018	0.258	-0.104	0.058	-0.053	-0.416	-0.172	-0.893
Ca 含量	0.393	0.232	0.000	0.061		-0.372	-0.212	-0.156	0.108	-0.099	0.206	-0.233
Mg 含量	-0.571	0.318	0.161	-0.590	0.256		-0.108	-0.184	0.160	0.123	0.315	0.452
Fe 含量	0.517	0.240	0.055	-0.264	-0.162	0.119		0.122	-0.058	-0.226	-0.142	-0.315
Zn 含量	0.374	0.076	-0.041	0.202	-0.164	0.280	0.169		-0.334	-0.222	-0.350	-0.384
Mn 含量	0.444	0.072	0.062	-0.155	0.095	-0.206	-0.067	-0.281		-0.033	0.180	-0.335
Cu 含量	0.979 *	-0.332	-0.082	-0.555	-0.040	-0.072	-0.119	-0.085	-0.015		0.259	-1.041
B 含量	-0.529	0.097	-0.050	0.424	-0.153	0.340	0.139	0.247	-0.151	-0.479		0.415

注：* 表示在 0.05 水平上作用显著。

表 7 金煌芒果实矿质元素含量与维生素 C 含量的通径分析结果

作用因子	直接通径系数	间接通径系数										间接通径系数之和
		通过 N 含量	通过 P 含量	通过 K 含量	通过 Ca 含量	通过 Fe 含量	通过 Mg 含量	通过 Zn 含量	通过 Mn 含量	通过 Cu 含量	通过 B 含量	
N 含量	0.336		-0.018	-0.107	-0.206	-0.213	-0.048	0.025	-0.004	0.164	-0.093	-0.501
P 含量	-0.047	0.129		-0.166	0.001	-0.196	-0.020	-0.025	-0.007	0.073	0.088	-0.123
K 含量	-0.306	0.117	-0.026		0.031	-0.226	-0.030	-0.038	-0.005	-0.156	0.234	-0.099
Ca 含量	0.662	-0.104	0.000	-0.014		0.325	-0.061	0.102	0.011	-0.037	-0.280	-0.059
Mg 含量	0.499	-0.143	0.018	0.138	0.431		-0.031	0.120	0.016	0.046	-0.429	0.167
Fe 含量	0.149	-0.108	0.006	0.062	-0.272	-0.104		-0.080	-0.006	-0.085	0.193	-0.394
Zn 含量	-0.244	-0.034	-0.005	-0.047	-0.276	-0.245	0.049		-0.034	-0.084	0.475	-0.201
Mn 含量	0.045	-0.032	0.007	0.036	0.161	0.180	-0.019	0.183		-0.013	-0.244	0.259
Cu 含量	0.368	0.150	-0.009	0.130	-0.067	0.063	-0.034	0.055	-0.002		-0.352	-0.066
B 含量	0.719	-0.044	-0.006	-0.099	-0.258	-0.297	0.040	-0.161	-0.015	-0.180		-1.020

量。因此,B、Ca、Mg 为影响维生素 C 的主要元素。

由表 8 可知,N 对金煌芒果实可溶性糖具有最大的直接作用(-0.454),其次为 P(-0.394)、Cu(0.385)和 Mg(0.348)。Ca 和 B 的直接作用相对较小,系数分别为 -0.064 和 -0.080。N、Mg 和 Cu 的间接途径系数分别为 0.146、-0.242 和 -0.195, P 的间接途径系数相对较小,为 -0.059,表明 P 主要通过负向直接作用影响金煌芒果实的可溶性糖

含量。

由表 9 可知,对金煌芒可滴定酸含量影响较大的元素为 N、K、Zn 和 Ca。其中,N、Zn 和 Ca 均为正向直接作用,直接途径系数分别为 0.971、0.841 和 0.686,K 为负向直接作用,系数为 -0.870。同时, N 具有最大的负向间接作用,系数为 -0.757,Zn、K 和 Ca 的间接途径系数较大,分别为 -0.734、0.691 和 -0.522。

表 8 金煌芒果实矿质元素含量与可溶性糖含量的通径分析结果

作用因子	直接途径系数	间接途径系数										间接途径系数之和
		通过 N 含量	通过 P 含量	通过 K 含量	通过 Ca 含量	通过 Fe 含量	通过 Mg 含量	通过 Zn 含量	通过 Mn 含量	通过 Cu 含量	通过 B 含量	
N 含量	-0.454		-0.151	-0.084	0.020	0.149	0.071	-0.030	-0.010	0.171	0.010	0.146
P 含量	-0.394	-0.174		-0.131	0.000	0.137	0.030	0.029	-0.016	0.077	-0.010	-0.059
K 含量	-0.241	-0.158	-0.214		-0.003	0.157	0.045	0.045	-0.013	-0.164	-0.026	-0.330
Ca 含量	-0.064	0.141	0.000	-0.011		-0.227	0.091	-0.122	0.026	-0.039	0.031	-0.109
Mg 含量	0.348	-0.194	-0.155	-0.109	0.042		-0.046	0.143	-0.019	0.049	0.048	-0.242
Fe 含量	-0.222	0.146	0.052	0.049	0.026	0.073		0.095	-0.014	-0.089	-0.021	0.317
Zn 含量	0.292	0.046	-0.040	-0.037	0.027	0.171	-0.072		-0.081	-0.087	-0.053	-0.127
Mn 含量	0.108	0.044	0.059	0.029	-0.016	-0.126	0.029	-0.220		-0.013	0.027	-0.186
Cu 含量	0.385	-0.202	-0.078	0.102	0.006	-0.044	0.051	-0.066	-0.004		0.039	-0.195
B 含量	-0.080	0.059	-0.048	-0.078	0.025	0.207	-0.059	0.193	-0.037	-0.188		0.073

表 9 金煌芒果实矿质元素含量与可滴定酸含量的通径分析结果

作用因子	直接途径系数	间接途径系数										间接途径系数之和
		通过 N 含量	通过 P 含量	通过 K 含量	通过 Ca 含量	通过 Fe 含量	通过 Mg 含量	通过 Zn 含量	通过 Mn 含量	通过 Cu 含量	通过 B 含量	
N 含量	0.971		0.091	-0.304	-0.213	-0.048	-0.004	-0.086	-0.040	-0.144	-0.010	-0.757
P 含量	0.238	0.373		-0.472	0.001	-0.044	-0.001	0.085	-0.062	-0.064	0.010	-0.177
K 含量	-0.870	0.339	0.129		0.032	-0.051	-0.002	0.130	-0.049	0.137	0.026	0.691
Ca 含量	0.686	-0.302	0.000	-0.041		0.074	-0.005	-0.351	0.101	0.033	-0.031	-0.522
Mg 含量	0.113	-0.415	-0.094	0.393	0.447		-0.002	-0.413	0.150	-0.041	-0.047	-0.022
Fe 含量	0.011	-0.313	-0.032	0.176	-0.282	-0.024		0.274	-0.054	0.075	0.021	-0.158
Zn 含量	0.841	-0.099	0.024	-0.135	-0.286	-0.055	0.004		-0.312	0.073	0.052	-0.734
Mn 含量	0.415	-0.093	-0.036	0.104	0.167	0.041	-0.001	-0.632		0.011	-0.027	-0.468
Cu 含量	-0.323	0.432	0.047	0.370	-0.069	0.014	-0.003	-0.191	-0.014		-0.039	0.548
B 含量	0.079	-0.126	0.029	-0.283	-0.267	-0.067	0.003	0.556	-0.141	0.158		-0.138

由表 10 可知,对金煌芒糖酸比直接作用较大的元素为 N(-1.174)、Zn(-0.954)、K(0.756)、Mn(-0.739)和 Ca(-0.704),其中,Zn、N、Mn、Ca 为负向作用,K 为正向作用。Mg、B 和 Fe 的直接作用相对较小。间接途径系数表明,Zn 通过其他元素对糖酸比的影响最大,系数为 0.928,其次为 N(0.756)、K(-0.751)、Ca(0.626)和 Mn(0.617),

其他元素的间接作用相对较小。因此,主要影响糖酸比的元素为 N、K、Ca、Zn、Mn。

3 讨论与结论

与其他影响果实品质形成的因素相比,矿质元素的供应易于操作及实现,已成为改善芒果品质的重要栽培措施。近年来的研究表明,土壤肥力因子

表 10 金煌芒果实矿质元素含量与糖酸比的通径分析结果

作用因子	直接通径系数	间接通径系数										间接通径系数之和
		通过 N 含量	通过 P 含量	通过 K 含量	通过 Ca 含量	通过 Fe 含量	通过 Mg 含量	通过 Zn 含量	通过 Mn 含量	通过 Cu 含量	通过 B 含量	
N 含量	-1.174		-0.066	0.264	0.219	0.009	0.008	0.097	0.071	0.140	0.014	0.756
P 含量	-0.172	-0.451		0.411	-0.001	0.008	0.003	-0.096	0.111	0.063	-0.013	0.034
K 含量	0.756	-0.410	-0.093		-0.033	0.009	0.005	-0.148	0.088	-0.134	-0.035	-0.751
Ca 含量	-0.704	0.365	0.000	0.036		-0.013	0.010	0.398	-0.180	-0.032	0.042	0.626
Mg 含量	-0.020	0.501	0.068	-0.342	-0.458		0.005	0.468	-0.267	0.040	0.064	0.079
Fe 含量	-0.025	0.378	0.023	-0.153	0.289	0.004		-0.311	0.096	-0.073	-0.029	0.225
Zn 含量	-0.954	0.120	-0.017	0.117	0.294	0.010	-0.008		0.556	-0.072	-0.071	0.928
Mn 含量	-0.739	0.113	0.026	-0.090	-0.171	-0.007	0.003	0.717		-0.011	0.036	0.617
Cu 含量	0.315	-0.522	-0.034	-0.321	0.071	-0.003	0.006	0.217	0.025		0.052	-0.510
B 含量	-0.107	0.153	-0.021	0.246	0.274	0.012	-0.007	-0.631	0.251	-0.154		0.123

与果实品质指标的关联性较弱^[6,11]。叶片矿质元素作为果实矿质元素的直接来源,虽与果实矿质元素的相关性较强^[19],但与果实品质的相关性较小^[5,12]。果实中矿质元素含量直接反映了果实对元素的吸收状况,与果实品质的相关性最大^[20]。因此,研究果实矿质元素含量对品质的影响对芒果的品质提升更具研究意义和应用价值。本研究采用相关性分析和通径分析研究了金煌芒果实矿质元素含量与品质的关系,结果显示,影响金煌芒果实品质的主要元素为 N、K、Ca、Mg、Cu 和 Zn。

N 和 K 是芒果品质形成过程中吸收较多的营养元素^[21],因此,关于 N 肥和 K 肥对芒果产量和品质影响的研究较多^[22-24],有研究表明 K 肥的增产提质效应高于 N 肥^[22,25]。但这些研究缺乏 N、K 元素对芒果品质指标的具体影响作用。本研究结果表明,N 对单果质量具最大的负向作用,表明 N 供应过量对芒果的产量具消极作用,而 K 对单果质量具正向作用,因此 N 肥的增产效应低于 K 肥。同时,N 对可溶性糖含量和糖酸比具最大的负向直接作用,对可滴定酸含量具最大的正向直接作用,表明 N 过量对果实的糖酸品质具负向作用^[7,12]。而 K 对可滴含量定酸具负向直接作用,对糖酸比具正向作用,表明 K 对芒果品质具正向作用,因此它的提质效应优于 N 肥。这与前人的研究结果^[22,25]相一致。此外,K 对果实硬度具负向直接作用,与徐慧等在苹果上的研究结果^[12]一致。

近年来,中微量元素对芒果品质的改善作用逐渐受到关注^[14-15,26-28]。Ca 是除 N 和 K 外,芒果果实中含量较多的元素,对芒果果实品质的形成起着

至关重要的作用^[26]。本研究结果显示,Ca 对单果质量具负向直接作用,对果实硬度具正向直接作用,这与在甜柿等果树上的研究结果^[10]相同。Ca 含量与维生素 C 含量呈极显著正相关,对维生素 C 含量具较大的正向作用,表明增施 Ca 肥可提高芒果果实的维生素 C 含量^[11]。但 Ca 对可溶性糖的作用较小,对可滴定酸具正向直接作用,对糖酸比具负向直接作用,表明果实的 Ca 供应过多时,对果实的糖酸品质起负向作用^[27]。

前人的研究表明,增施镁肥对提高芒果品质具有积极的影响^[18]。本研究中,Mg 含量与维生素 C 含量呈极显著正相关,对维生素 C 含量和可溶性糖含量具较大的正向作用,由此表明,Mg 含量对芒果的营养和糖酸品质具正向作用

Cu 在果树叶绿素的形成及碳水化合物的分配等方面发挥着一定的作用^[28]。本研究结果表明,Cu 含量对芒果果实的可食率及可溶性糖含量具正向作用,与 Cu 的作用相吻合,因此提高果实中的 Cu 含量可提高芒果的可食程度和糖酸品质。而生产中,有机肥是果实中的 Cu 主要来源之一,由此推测,丰富的 Cu 含量是有机肥提高芒果果实糖酸品质的原因之一。

在苹果上的研究表明,施加 Zn 肥可提高可溶性糖含量和糖酸比,使果实的糖酸品质得以改善^[29]。Zn 含量对芒果品质的影响鲜见报道。本研究结果显示,Zn 含量对芒果果实的可溶性糖和可滴定酸含量均具直接正向作用,这是因为 Zn 有利于果实中同化物的积累^[30]。但因其对可滴定酸含量(0.841)的作用大于可溶性糖含量(0.292),从而对

糖酸比具负向作用。由此可知,Zn 含量对芒果果实品质的提升具负向作用,这与沙守峰等在梨上的研究结果^[31]一致。因此,减少果实中的 Zn 含量是提升芒果品质的主要措施之一。

综上所述,N、K、Ca、Mg、Cu 和 Zn 等元素为影响金煌芒品质的主要矿质元素。在生产中可增加 K、Mg 和 Cu 的用量,降低 N、Ca 和 Zn 的用量。本研究仅以金煌芒为研究对象,研究结果是否适用于其他芒果品种有待验证。因此,下一步将以我国芒果主栽品种为试验对象,对芒果果实矿质元素与品质的关系进行深入研究,从而为芒果品质提升的养分供应提供依据。

参考文献:

- [1]余海霞,罗 聪,黄 方,等. 避雨栽培对台农一号芒果园温湿度及果实品质的影响[J]. 南方农业学报,2017,48(8):1452 – 1457.
- [2]彭 杨,黄 海,龚德勇,等. 栽培技术对芒果果实品质影响的研究进展[J]. 农技服务,2021,38(7):56 – 58,62.
- [3]林兴娥,周兆禧,戴敏洁,等. 海南红毛丹栽培品系果实矿质元素和品质指标的测定与相关性分析[J]. 热带农业科学,2016,36(10):65 – 69.
- [4]倪海枝,陈方永,王 引,等. 硫硼营养对东魁杨梅矿质元素含量影响及与品质指标的相关性[J]. 江西农业学报,2020,32(2):44 – 50.
- [5]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分析及通径分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(7):146 – 151.
- [6]张 强,李兴亮,李民吉,等. 富士苹果品质与果实矿质元素含量的关联性分析[J]. 果树学报,2016,33(11):1388 – 1395.
- [7]白永超,卫旭芳,陈 露,等. 笃斯越橘果实、叶片矿质元素和土壤肥力因子与果实品质的多元分析[J]. 中国农业科学,2018,51(1):170 – 181.
- [8]余 璇,文 婷,马青龄,等. 金沙柚果实品质与土壤、叶片、果实矿质养分的相关性分析[J]. 江西农业大学学报,2021,43(1):70 – 81.
- [9]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,2016,22(20):23 – 27.
- [10]徐 阳,龚榜初,刘同祥,等. 次郎甜柿果实矿质元素与果实品质关系研究[J]. 林业科学研究,2020,33(4):108 – 116.
- [11]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.
- [12]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.

- [13]位 杰,蒋 媛,林彩霞,等. 6 个库尔勒香梨品种果实矿质元素与品质的相关性和通径分析[J]. 食品科学,2019,40(4):259 – 265.
- [14]李华东,白亭玉,郑 妍,等. 土壤施钙对芒果果实钾、钙、镁含量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2014(6):76 – 80.
- [15]秦玉燕,陈永森,吴 凤,等. 外源硒对芒果硒含量及果实营养品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2020(5):213 – 219.
- [16]臧小平,周兆禧,林兴娥,等. 不同用量有机肥对芒果果实品质及土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料,2016(1):98 – 101.
- [17]冯焕德,党志国,倪 斌,等. 羊粪发酵肥替代化肥对芒果园土壤性状、叶片营养及果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2019(6):190 – 195.
- [18]臧小平,王甲水,周兆禧,等. 土壤施镁对芒果产量与品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2017(3):89 – 92.
- [19]黄 霄,王化坤,渠慎春,等. 江苏东山山地枇杷果实品质与果园土壤、叶片和果实矿质元素的关系[J]. 西北植物学报,2019,39(4):692 – 701.
- [20]吴东峰,何伟忠,王 成. 新疆骏枣矿质元素含量与其品质相关性初探[J]. 经济林研究,2018,36(2):80 – 87.
- [21]de Mello Prado R. Phosphorus effects in the nutrition and growth of developing mango plants[J]. Journal of Plant Nutrition,2010,33(14):2041 – 2049.
- [22]林建明,林 电,许 杰. 不同氮钾配比对芒果产量与品质的影响[J]. 广东农业科学,2012,39(10):92 – 93,97.
- [23]臧小平,王甲水,周兆禧,等. 复合肥用量对芒果产质量及经济效益的影响[J]. 贵州农业科学,2016,44(11):87 – 90.
- [24]刘清国,龚德勇,王晓敏,等. 贵州干热河谷芒果施肥试验[J]. 福建林业科技,2013,40(3):82 – 85.
- [25]张 文,符传良,吉清妹,等. 海南芒果平衡施肥技术研究[J]. 广东农业科学,2012,39(19):67 – 70.
- [26]李华东,白亭玉,郑 妍,等. 叶施硝酸钙对芒果钾、钙、镁含量及品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(3):63 – 68.
- [27]姚 智,王艺蓉,李华东,等. 叶面增施液钙对芒果钾、钙、镁含量及品质的影响[J]. 福建农业学报,2017,32(4):359 – 364.
- [28]Ma J Z,Zhang M,Liu Z G,et al. Effects of foliar application of the mixture of copper and chelated iron on the yield, quality, photosynthesis, and microelement concentration of table grape (*Vitis vinifera* L.)[J]. Scientia Horticulturae,2019,254:106 – 115.
- [29]贾永华,李晓龙,牛锐敏,等. 叶面喷锌对苹果叶片生长及产量品质的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):218 – 220.
- [30]李 娟,陈杰忠,黄永敬,等. Zn 营养在果树生理代谢中的作用研究进展[J]. 果树学报,2011,28(4):668 – 673.
- [31]沙守峰,李俊才,王家珍,等. 叶面喷施钙肥和锌肥对早金酥梨果实糖酸含量的影响[J]. 果树学报,2018,35(增刊1):109 – 113.