

侯彦林,侯诺萍,刘书田,等. 广西沃柑果实品质与土壤养分相关性分析[J]. 江苏农业科学,2025,53(22):207-213.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.22.028

广西沃柑果实品质与土壤养分相关性分析

侯彦林^{1,2}, 侯诺萍^{1,2}, 刘书田^{1,2}, 陈传武³, 牛英³, 范七君³, 李可⁴, 杜潇^{1,2}

(1. 南宁师范大学广西地标作物大数据工程技术研究中心, 广西南宁 530001;

2. 南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西南宁 530001;

3. 广西特色作物研究院/广西桂北特色经济作物种质创新与利用重点实验室, 广西桂林 541004; 4. 广西电力职业技术学院, 广西南宁 530001)

摘要:广西是我国最大的柑橘产区,其中沃柑是目前发展最迅速的柑橘品种之一。沃柑果实品质是衡量其商品性的关键因素,受多种因素影响。为探索广西沃柑果实品质与土壤中营养成分含量的相关性,采集广西 8 个地区 40 个沃柑果园的果实和土壤,测定其 16 个果实品质性状指标、11 个土壤营养成分指标,基于相关性分析研究了果实品质和土壤营养成分含量的关系。结果表明,广西不同地区的沃柑果实品质和土壤营养成分均存在差异,且不同品质指标间存在相关性;相关性分析结果显示,果实品质与土壤营养成分有显著相关性,果实单果重与土壤中的全钾含量呈极显著正相关,与土壤中有效锌、全氮、有效硼、有效钼、全磷及全硒含量呈显著正相关;糖酸比与土壤中有效锌含量、土壤 pH 值以及土壤有效磷含量呈极显著正相关,与土壤中碱解氮、全氮、有效硼和有效钼含量呈显著正相关;沃柑果实固酸比与土壤 pH 值、有效钼含量、有效锌含量、碱解氮含量、有效磷含量以及有效硼含量呈极显著正相关,与土壤中的全钾含量呈显著正相关。综上,土壤中有效磷、全氮、有效锌及有效硼含量对沃柑果实品质起正向积极作用,增加沃柑果园土壤中磷、氮、锌、硼等营养成分含量有利于提高果实品质。

关键词:沃柑;果实品质;土壤营养成分;相关性分析

中图分类号:S666.104;S666.106 **文献标志码:**A

文章编号:1002-1302(2025)22-0207-06

沃柑 (*Citrus reticulata* Blanco ‘Orah’) 为芸香科 (Rutaceae) 柑橘属 (*Citrus*) 植物,是坦普尔橘橙 (*Citrus Temple*) 与丹西红橘 (*Citrus reticulata* Dancy) 的杂交后代,其树势强健、丰产性好、高糖适酸、越冬落果少、皮较易剥离且耐储运^[1]。2004 年引进后在广西、重庆、四川和云南等地试种均表现优异,2015 年开始在我国迅速推广,目前栽培面积已超 200 万亩 (1 亩 = 667 m²),主要分布在广西、云南、重庆、四川、广东等冬季最低温度 0℃ 以上区域^[2]。广西是我国最大的柑橘产区,柑橘产业规模连续 8 年位居全国第一,沃柑是广西近年来发展速度最迅猛的柑橘品种,2022 年种植面积达 12.13 万 hm²,约占全国 60%,其中南宁市及武鸣区沃柑种植面积分别为 6.13 万、3.12 万 hm²^[3-5]。果实品质是衡量沃柑商品

性的直接指标,柑橘果实品质包括果实单果重、可溶性固形物含量、可食率、出汁率、果形指数、糖含量、酸含量、维生素 C 含量等^[6]。果实品质受地域气候、栽培管理水平、土壤营养成分等因素的影响,其中土壤营养成分是影响果实品质的最重要因素之一^[7]。高品质能提高沃柑市场竞争力,是保证其经济价值的重要保障。探讨沃柑果实品质与果园土壤养分的相关性,有益于了解沃柑果实品质形成的特性和成熟规律,为新种质选育和栽培技术的提高提供参考。

本研究以广西区内 8 个地区的 40 个沃柑果园为研究对象,对 16 个果实品质性状指标、11 个土壤营养成分指标进行测定,分析沃柑果实品质和果园土壤养分情况及其相关性,探索影响沃柑果实品质形成的关键土壤营养成分指标,以为沃柑优质高效栽培技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究的试材来自广西区内 8 个地区的 40 个沃柑果园 (表 1),于 2023 年 1 月果实成熟时,每个果园中选取长势中等、结果量中等的 5 株代表性植株,每株于不同方位均匀采集成熟度一致的无病虫

收稿日期:2024-12-05

基金项目:北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室开放基金 (编号:NNNU-KLOP-X2007);广西八桂学者专项经费 (侯彦林);广西重点研发计划 (编号:桂农科 AB241484046)。

作者简介:侯彦林 (1959—),男,吉林公主岭人,博士,教授,从事生态平衡施肥和农业地理信息学研究。E-mail:2483977138@qq.com。

通信作者:杜潇,博士,助理研究员,主要从事果树种质资源评价与利用研究。E-mail:xiaodu20191231@163.com。

害果实 6 个,每个果园共计 30 个果实为 1 份样品,装入密封袋中带回实验室测定;以所选样树的树冠下距树干 1.5~2.0 m 处取土,去掉表层 2~3 cm 土壤以及杂质后,在样树的东、南、西、北方向分别垂直取大约 20 cm 深土层的土壤混合均匀,按照四分法取约 1 kg 混合土壤作为一个检测样品,装袋编号,带回实验室测定。

1.2 测定方法

1.2.1 果实品质测定

共测定 16 个果实品质指标,其中包括单果重、果实横纵径、果形指数、单果皮重、果皮厚度、单果种子数、单粒重、可食率、果汁率等外部果实品质指标;维生素 C 含量、全糖含量、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比、糖酸比等果实内在品质指标,每个指标进行 3 次生物学重复。其中,用电子天平测定单果重、单果皮重;果实横纵径、果皮厚度用游标卡尺进行测量,纵横径沿中心方向测量;用手持式糖度计测量沃柑果实的可溶性固形物含量;果实可食率 = $[(\text{单果重} - \text{单果皮重} - \text{种子重}) / \text{单果重}] \times 100\%$;果形指数等于果实纵径/果实横径。利用 NaOH 滴定法(GB/T 8210—2011《柑橘鲜果检测方法》)测定可滴定酸含量,果实全糖含量利用碱性酒石酸铜液直接滴定法(GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》)测定;维生素 C 含量利用 2,6-二氯靛酚滴定法(GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》)测定;沃柑果实固酸比 = 果实中可溶性固形物含量/酸含量;糖酸比 = 全糖含量/酸含量。

1.2.2 土壤养分指标测定

测试指标包括:土壤 pH 值、有效磷(AP)含量、有机质(OM)含量、全氮(TN)含量、碱解氮(AN)含量、有效锌含量、全磷(TP)含量、有效硼含量、有效钼含量、全钾(TK)含量、全硒含量。pH 值采用玻璃电极法测定,采用盐酸-氟化铵浸提钼锑抗比色法测定土壤有效磷含量,采用重铬酸钾氧化-外加热法测定土壤有机质含量,采用硫酸-加速剂消解后凯氏定氮法测定土壤全氮含量,采用 NaOH 碱熔后钼锑抗分光光度法测定土壤全磷含量,采用 DTPA 浸提 ICP 法测定土壤中有效锌含量,采用 NaOH 碱熔后火焰光度法测定土壤全钾含量,采用沸水浸提 ICP 法测定有效硼含量,采用碱解扩散法测定土壤碱解氮含量,采用草酸-草酸铵溶液浸提 ICP 法测定有效钼含量,全硒含量用原子吸收光谱法测定。

表 1 试材情况

区域	经度	纬度	采样时间
钟山	111°29'E	24°44'N	2023-02-20
钟山	111°32'E	24°53'N	2023-02-20
钟山	111°14'E	24°47'N	2023-02-20
钟山	111°22'E	24°53'N	2023-02-20
钟山	111°06'E	24°39'N	2023-02-20
阳朔	110°63'E	24°76'N	2023-01-09
阳朔	110°61'E	24°76'N	2023-01-09
阳朔	110°61'E	24°76'N	2023-01-09
阳朔	110°61'E	24°84'N	2023-01-09
阳朔	110°61'E	24°78'N	2023-01-09
西乡塘	107°97'E	22°88'N	2023-01-15
西乡塘	107°92'E	22°85'N	2023-01-15
西乡塘	107°86'E	22°89'N	2023-01-15
西乡塘	107°96'E	22°88'N	2023-01-15
西乡塘	108°01'E	22°88'N	2023-01-15
百色	106°42'E	23°08'N	2023-01-17
百色	106°41'E	23°07'N	2023-01-17
百色	106°37'E	23°08'N	2023-01-17
百色	106°58'E	23°03'N	2023-01-17
百色	106°58'E	23°02'N	2023-01-17
灵川	110°22'E	25°51'N	2023-01-05
灵川	110°29'E	25°45'N	2023-01-05
灵川	110°21'E	25°41'N	2023-01-05
灵川	110°21'E	25°37'N	2023-01-05
灵川	110°33'E	25°32'N	2023-01-05
柳南	109°19'E	24°40'N	2023-01-15
柳南	109°27'E	24°42'N	2023-01-15
柳南	109°27'E	24°41'N	2023-01-15
柳南	109°28'E	24°40'N	2023-01-15
柳南	109°27'E	24°35'N	2023-01-15
武鸣	108°40'E	23°18'N	2023-01-16
武鸣	107°69'E	23°16'N	2023-01-16
武鸣	108°50'E	23°13'N	2023-01-16
武鸣	107°58'E	23°10'N	2023-01-16
武鸣	107°38'E	23°15'N	2023-01-16
柳江	109°24'E	29°59'N	2023-01-09
柳江	109°24'E	24°00'N	2023-01-09
柳江	109°23'E	24°01'N	2023-01-09
柳江	109°23'E	24°14'N	2023-01-09
柳江	109°20'E	24°12'N	2023-01-09

1.3 数据处理与统计分析

用 Excel 2020 对试验数据进行统计整理,用 SPSS 26.0 计算性状指标的均值、标准差并进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 果实品质分析

40 份沃柑试材的果实品质指标见表 2,40 份试材的平均单果重最大为 161.44 g,最小为 114.21 g;

果实纵径范围为 5.18 ~ 5.87 cm, 果实横径范围为 6.32 ~ 7.21 cm, 果形指数范围为 0.79 ~ 0.83, 可溶性固形物含量为 12.91% ~ 15.93%, 全糖含量为 11.03% ~ 13.96%, 可滴定酸含量为 0.55% ~ 1.05%, 维生素 C 含量为 18.40 ~ 24.58 mg/100 g, 糖酸比范围为 11.62 ~ 22.19, 固酸比范围为 14.40 ~

23.79, 果皮厚度范围为 0.32 ~ 0.38 cm, 单果皮重范围为 28.60 ~ 39.16 g, 单果种子数范围为 11.97 ~ 15.63 粒, 单粒重范围为 0.15 ~ 0.22 g, 可食率范围为 73.07% ~ 75.75%, 果汁率范围为 41.58% ~ 51.12%。

表 2 果实品质

地区	单果重 (g)	纵径 (cm)	横径 (cm)	果形指数	可溶性固形物含量 (%)	全糖含量 (%)	可滴定酸含量 (%)	维生素 C 含量 (mg/100 g)
柳江	114.2 ± 23.32a	5.18 ± 0.35a	6.32 ± 0.39a	0.82 ± 0.02cd	14.45 ± 0.97d	11.63 ± 0.78bc	1.05 ± 0.26d	22.10 ± 3.68bcd
灵川	148.21 ± 10.83c	5.63 ± 0.22bc	7.06 ± 0.18c	0.80 ± 0.02ab	13.53 ± 0.79bc	11.46 ± 0.58bc	0.75 ± 0.12c	23.81 ± 0.41de
阳朔	161.44 ± 12.70d	5.86 ± 0.21d	7.21 ± 0.20c	0.81 ± 0.01bc	13.08 ± 0.76a	11.03 ± 0.58a	0.67 ± 0.08bc	22.11 ± 3.09bcd
西乡塘	156.31 ± 13.93cd	5.87 ± 0.20d	7.04 ± 0.24c	0.83 ± 0.01d	13.35 ± 0.46ab	12.34 ± 0.48d	0.57 ± 0.09a	18.36 ± 1.65a
武鸣	132.36 ± 12.14b	5.43 ± 0.14b	6.63 ± 0.24b	0.82 ± 0.01cd	14.40 ± 1.30d	12.02 ± 0.96cd	0.63 ± 0.07ab	19.98 ± 1.33ab
柳南	148.05 ± 6.91c	5.65 ± 0.14c	6.98 ± 0.13c	0.81 ± 0.02bc	13.75 ± 0.98c	11.31 ± 0.84ab	0.67 ± 0.09bc	24.51 ± 2.24e
百色	153.63 ± 8.75cd	5.59 ± 0.08bc	7.11 ± 0.17c	0.79 ± 0.02a	12.91 ± 0.76a	11.54 ± 0.71a	0.55 ± 0.06a	20.52 ± 1.40abc
钟山	128.24 ± 15.53b	5.38 ± 0.24b	6.57 ± 0.26b	0.82 ± 0.01cd	15.93 ± 0.94e	13.96 ± 1.03e	0.68 ± 0.11bc	22.95 ± 2.03cde

地区	糖酸比	固酸比	果皮厚度 (cm)	单果皮重 (g)	单果种子数 (粒)	单粒重 (g)	可食率 (%)	果汁率 (%)
柳江	11.62 ± 2.30a	14.40 ± 2.66a	0.34 ± 0.03b	28.60 ± 5.56a	13.21 ± 2.88ab	0.15 ± 0.02a	73.07 ± 1.86a	44.47 ± 4.02b
灵川	15.64 ± 2.18b	18.42 ± 2.13b	0.36 ± 0.02c	34.23 ± 3.53bc	11.97 ± 1.29a	0.19 ± 0.02c	75.28 ± 2.46c	41.58 ± 6.30a
阳朔	16.64 ± 1.46b	19.70 ± 1.50bc	0.35 ± 0.02b	39.16 ± 4.15e	14.99 ± 2.14cd	0.20 ± 0.02cd	73.97 ± 0.78ab	46.37 ± 3.84bc
西乡塘	22.19 ± 3.69d	24.04 ± 4.35d	0.38 ± 0.03d	37.41 ± 4.70bcd	15.63 ± 1.09d	0.22 ± 0.02e	73.97 ± 1.33ab	44.84 ± 2.25b
武鸣	19.27 ± 1.74c	23.06 ± 1.89d	0.35 ± 0.02b	32.22 ± 3.30b	14.14 ± 2.14bcd	0.18 ± 0.03bc	73.71 ± 1.73ab	47.62 ± 4.47cd
柳南	17.17 ± 1.76b	20.86 ± 1.71c	0.35 ± 0.02b	35.02 ± 2.91cd	13.48 ± 1.96abc	0.17 ± 0.02b	74.77 ± 1.49bc	51.12 ± 3.91e
百色	21.28 ± 2.40d	23.79 ± 2.50d	0.33 ± 0.03a	34.74 ± 3.90bcd	12.23 ± 2.84a	0.21 ± 0.03de	75.75 ± 1.71c	49.58 ± 2.18e
钟山	20.75 ± 2.62cd	23.67 ± 2.73d	0.32 ± 0.03a	29.09 ± 4.12a	13.42 ± 2.51ab	0.17 ± 0.02b	75.51 ± 1.40c	47.52 ± 2.57cd

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。表 3 同。

2.2 土壤营养成分分析

由表 3 可见,广西 8 个沃柑主产区的果园土壤 pH 值范围在 5.25 ~ 6.19,为微酸性土壤。土壤的 AP 值为 12.15 ~ 21.94 mg/kg,其中柳江地区的沃柑果园 AP 值最低,武鸣地区的沃柑果园 AP 值最高。土壤有机质含量范围为 18.53 ~ 21.85 g/kg,AN 含量范围为 88.84 ~ 112.76 mg/kg,TN 含量范围为 1.31 ~ 2.03 g/kg,TP 含量范围为 0.84 ~ 1.28 g/kg,TK 含量范围为 4.93 ~ 6.84 g/kg,土壤有效锌含量范围为 1.03 ~ 1.92 mg/kg,土壤有效硼含量范围为 0.12 ~ 0.31 mg/kg,土壤有效钼含量范围为 0.27 ~ 0.58 mg/kg,土壤全硒含量范围为 0.37 ~ 0.56 mg/kg。

2.3 果实品质指标的相关性分析

为明确不同地区沃柑果实品质指标间的相关关系,对 16 个沃柑果实品质指标进行相关性分析。结果表明,单果重与果实横径、纵径、全糖含量、糖酸比、固酸比、可滴定酸含量、果皮厚度、单果皮重、单粒重以及可溶性固形物含量呈极显著相关;果实

纵径与果实横径、可溶性固形物含量、果皮厚度、全糖含量、单果种子数、可滴定酸含量、单果种子数、单果皮重、糖酸比、单粒重、固酸比、单果皮重等指标呈极显著相关;果实横径与果皮厚度、果形指数、单果皮重、可溶性固形物含量、全糖含量、可滴定酸含量、糖酸比、固酸比以及单粒重等呈极显著相关;可溶性固形物含量与单果皮重、果皮厚度、可滴定酸含量、维生素 C 含量、全糖含量及单粒重呈极显著相关;全糖含量与单果皮重极显著相关;可滴定酸含量与单粒重、维生素 C 含量、单果皮重、糖酸比、可食率及固酸比呈极显著相关;维生素 C 含量与糖酸比及固酸比极显著相关;糖酸比与固酸比、果皮厚度、单果皮重、单粒重、果汁率呈极显著相关;固酸比与果皮厚度、单粒重、果汁率极显著相关;果皮厚度与单果皮重、单粒重及可食率极显著相关;果实单果皮重与单粒重、可食率极显著相关;单粒重与可食率极显著相关;可食率与果汁率极显著相关(表 4)。

表 3 土壤营养成分

地区	pH 值	AP 含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)	AN 含量 (mg/kg)	TN 含量 (g/kg)	TP 含量 (g/kg)	TK 含量 (g/kg)	有效锌含量 (mg/kg)	有效硼含量 (mg/kg)	有效铝含量 (mg/kg)	全硒含量 (mg/kg)
柳江	5.25 ± 0.14a	12.15 ± 0.68a	18.53 ± 0.31a	88.84 ± 1.65a	1.31 ± 0.07a	0.84 ± 0.06a	4.93 ± 0.25a	1.03 ± 0.06a	0.12 ± 0.02a	0.27 ± 0.04a	0.37 ± 0.03a
灵川	5.46 ± 0.05a	14.03 ± 1.66ab	18.90 ± 0.22ab	92.16 ± 2.24b	1.56 ± 0.09b	0.88 ± 0.03b	5.06 ± 0.19a	1.27 ± 0.13ab	0.18 ± 0.04b	0.32 ± 0.04b	0.40 ± 0.02b
阳朔	5.70 ± 0.20b	16.53 ± 0.94abc	19.38 ± 0.38bcd	93.31 ± 4.58b	1.60 ± 0.13b	0.92 ± 0.06b	5.65 ± 0.30bc	1.40 ± 0.18abc	0.23 ± 0.02bc	0.34 ± 0.05b	0.44 ± 0.02b
西乡塘	6.00 ± 0.08c	19.54 ± 1.07bcd	19.31 ± 0.41bcd	102.55 ± 4.53c	1.79 ± 0.13c	0.97 ± 0.10bc	5.75 ± 0.30bc	1.63 ± 0.16cde	0.26 ± 0.01c	0.42 ± 0.03bc	0.41 ± 0.06b
武鸣	5.95 ± 0.29c	21.94 ± 1.014e	20.26 ± 0.72d	112.76 ± 6.18d	1.80 ± 0.14c	1.09 ± 0.11c	6.46 ± 0.22c	1.68 ± 0.16de	0.27 ± 0.03c	0.51 ± 0.05c	0.51 ± 0.03c
柳南	5.96 ± 0.18c	20.98 ± 1.80de	19.05 ± 0.24abc	102.21 ± 7.33c	2.03 ± 0.13d	1.22 ± 0.07d	6.68 ± 0.31d	1.71 ± 0.11de	0.31 ± 0.02d	0.50 ± 0.04c	0.56 ± 0.01d
百色	6.19 ± 0.05d	21.87 ± 0.57e	19.71 ± 0.64cd	106.99 ± 3.00c	1.99 ± 0.09d	1.20 ± 0.19cd	6.55 ± 0.36c	1.92 ± 0.09e	0.31 ± 0.04d	0.58 ± 0.04d	0.45 ± 0.02b
钟山	6.15 ± 0.07d	20.63 ± 1.98cde	21.85 ± 0.49e	111.14 ± 3.35d	1.96 ± 0.07d	1.28 ± 0.17d	6.84 ± 0.42d	1.78 ± 0.13de	0.30 ± 0.02d	0.54 ± 0.07d	0.50 ± 0.01c

表 4 沃柑果实品质指标相关性分析

指标	相关系数																
	单果重	纵径	横径	果形指数	可溶性固形物含量	全糖含量	可滴定酸含量	维生素 C 含量	糖酸比	固酸比	果皮厚度	单果皮重	单果皮重	种子数	单粒重	可食率	果汁率
单果重	1.000	0.942**	0.974**	-0.094	-0.517**	-0.276**	-0.573**	-0.163	0.363**	0.333**	0.821**	0.875**	0.875**	0.207*	0.537**	0.163	0.070
纵径	1.000	1.000	0.894**	0.193*	-0.484**	-0.259**	-0.555**	-0.212*	0.350**	0.324**	0.708**	0.845**	0.845**	0.275**	0.517**	0.105	0.016
横径	1.000	1.000	1.000	-0.251**	-0.566**	-0.336**	-0.568**	-0.132	0.332**	0.304**	0.815**	0.862**	0.862**	0.134	0.507**	0.149	0.057
果形指数	1.000	1.000	1.000	1.000	0.189*	0.179	0.011	-0.192*	0.069	0.077	-0.254**	-0.055	-0.055	0.313**	-0.022	-0.101	-0.086
可溶性固形物含量	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.808**	0.492**	0.415**	-0.181*	-0.141	-0.413**	-0.469**	-0.469**	-0.151	-0.329**	-0.013	-0.081
全糖含量	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.167	0.193*	0.227*	0.149	-0.226*	-0.274**	-0.274**	-0.059	-0.079	0.045	-0.037
可滴定酸含量	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.475**	-0.849**	-0.864**	-0.519**	-0.433**	-0.433**	-0.223*	-0.358**	-0.249**	-0.356**
维生素 C 含量	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-0.448**	-0.415**	-0.085	-0.184*	-0.184*	-0.142	-0.231*	0.099	0.028
糖酸比	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.971**	0.310**	0.310**	0.155	0.320**	0.198*	0.304**
固酸比	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.297**	0.215*	0.141	0.260**	0.217*	0.344**
果皮厚度	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.611**	0.160	0.519**	0.343**	0.101
单果皮重	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.187*	0.342**	-0.320**	-0.063
单果种子数	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.086	-0.100	0.181**
单粒重	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.236**	-0.015
可食率	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.264**
果汁率	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

注：*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。表 5、表 6 同。

2.4 土壤营养成分的相关性分析

由表 5 可见,土壤 pH 值与有效硼、AP、AN、TN、有效钼、有效锌以及 TK 含量呈极显著正相关($P < 0.01$),与 TP 含量显著正相关($P < 0.05$);AP 含量与有效钼、TN、有效硼、TK、有效锌、TP 以及 AN 含量极显著正相关,与全硒含量呈显著正相关;有机质含量与 AN 含量呈显著正相关;AN 含量与 TN、TP 含量以及有效硼含量呈显著正相关,与 TK 含量及有效锌含量呈极显著正相关;TN 含量与 TP、TK、有效锌、有效硼及有效钼含量呈极显著正相关,与全硒含量呈显著正相关;TP 含量与 TK、有效锌、有效硼及有效钼含量呈极显著正相关,与全硒含量呈显著正相关;TK 含量与有效锌、有效硼、有效钼及全硒含量呈极显著正相关;土壤中有有效锌含量与有效硼含量及有效钼含量呈极显著正相关;土壤中有有效钼含量与全硒含量呈显著正相关。

2.5 果实品质指标与土壤养分指标的相关性分析

分析了沃柑果实品质与沃柑果园中土壤养分的相关性,结果如表 6 所示。果实单果重与果园土壤中 TK 含量呈极显著正相关,与 AP、TN、TP、全硒、有效硼、有效钼及有效锌含量呈显著正相关;全糖含量与果园土壤中有机质含量呈极显著正相关;果实中可滴定酸含量与果园土壤的 pH 值、有效硼含量以及有效锌含量呈极显著负相关,与 AP、TN 和有效钼含量呈显著负相关;糖酸比与果园土壤的 pH 值、有效锌含量以及 AP 含量呈极显著正相关,与有效硼含量、AN、有效钼含量以及 TN 含量呈显著正相关;固酸比与土壤 pH 值、有效钼含量、AP 含量、有效锌含量、AN 含量以及有效硼含量呈极显著正相关,与 TK 含量呈显著正相关。说明沃柑果实品质形成受土壤营养成分指标的相互作用影响,其中有机质、TP 和全硒含量影响 1 个果实品质指标,AN 和 TK 含量影响 2 个果实品质指标,土壤 pH 值影响了 3 个果实品质指标,AP、TN、有效锌、有效硼和有效钼含量影响了单果重、可滴定酸含量、糖酸比及固酸比等 4 个果实品质指标,这些土壤营养成分因子主要影响了广西沃柑果实品质的形成。

3 讨论与结论

沃柑是重要的经济作物,果实品质能直接影响其经济价值以及市场上的竞争力,高品质的果实能够带来更高的市场价值和消费者满意度,从而创造更多的经济收益^[8]。黄其椿等调查了广西 15 个

沃柑果园的基础数据,发现果园之间沃柑果实横径差别大,广西沃柑提质增产存在较大空间,科学合理安排水肥药的灌溉可以加速果实膨大^[9]。朱攀攀比较了不同气候区沃柑果实品质发现,南宁地区的沃柑果实单果重大;柳州、南宁的沃柑可食率高;温度较其他气象因子对沃柑果实品质影响最大,水分和光照次之^[2]。张社南等研究发现,叶果比增加沃柑株产量减少、单果重增加,叶果比(30~40):1 是沃柑结果树较适宜的叶果比^[10]。土壤为果树提供生长必需的营养元素,影响了果实的正常生长发育及营养成分,前人研究表明,蜜桃、葡萄、草莓、褚橙、杨梅、刺梨等果树的果实品质均受土壤营养成分的影响^[11-17]。同时,李跃琼等的研究表明,优化施肥方法,能提高沃柑果实产量,使果实可溶性固形物含量增加,使单果重增加、果皮变薄、酸含量下降,使果实品质明显提高,表明沃柑果实的品质与土壤养分存在相关性,探索沃柑果实与土壤养分的相关性,有助于在生产中指导施肥^[18]。

本研究结果表明,广西不同地区的沃柑果实品质及土壤养分均存在差异,各指标之间可能存在着相互作用。评价沃柑果实品质最重要的指标为单果重、糖酸比及固酸比。试验结果显示,果实单果重与土壤全钾含量呈极显著正相关,与土壤全氮含量、有效钼含量、全磷含量、有效锌含量、全硒含量及有效硼含量呈显著正相关;糖酸比与土壤 pH 值、有效锌含量以及土壤有效磷含量呈极显著正相关,与碱解氮含量、全氮含量、有效硼和有效钼呈显著正相关;固酸比与土壤 pH 值、有效锌含量、有效磷含量、有效硼含量、碱解氮含量以及有效钼含量呈极显著正相关,与土壤中的全钾含量呈显著正相关。表明土壤中有有效磷含量、有效锌、全氮含量及有效硼含量对沃柑果实品质起正向积极作用。在沃柑果园施肥中,增加土壤中有有效磷含量、全氮含量、有效锌及有效硼含量有利于整体提高果实品质。

参考文献:

- [1] 刘要鑫,陈东奎,李果果,等. 不同砧木对沃柑树体及果实品质的影响[J]. 南方农业学报,2019,50(2):338-343.
- [2] 朱攀攀. 不同气候区沃柑果实产量和品质比较研究[D]. 重庆:西南大学,2020:1-2.
- [3] 刘萍,刘晓凤,付慧敏. 常温和低温贮藏过程中沙糖橘、沃柑和 W. 默科特品质变化规律研究[J]. 南方园艺,2023,34(2):1-4.
- [4] 黄其椿,陈东奎. 广西沃柑生产技术与经营[M]. 南宁:广西科学技术出版社,2019:56-61.

表 5 土壤营养成分指标相关性分析

指标	相关系数										
	pH 值	AP 含量	有机质含量	AN 含量	TN 含量	TP 含量	TK 含量	有效锌含量	有效硼含量	有效铝含量	全硒含量
pH 值	1.000										
AP 含量	0.942**	1.000									
有机质含量	0.645	0.588	1.000								
AN 含量	0.869**	0.924**	0.778*	1.000							
TN 含量	0.921**	0.928**	0.550	0.811*	1.000						
TP 含量	0.824*	0.849**	0.701	0.825*	0.925**	1.000					
TK 含量	0.876**	0.933**	0.706	0.888**	0.932**	0.966**	1.000				
有效锌含量	0.974**	0.966**	0.614	0.880**	0.963**	0.887**	0.924**	1.000			
有效硼含量	0.956**	0.953**	0.592	0.825*	0.977**	0.885**	0.934**	0.978**	1.000		
有效铝含量	0.918**	0.954**	0.656	0.923**	0.938**	0.934**	0.951**	0.972**	0.927**	1.000	
全硒含量	0.599	0.768*	0.462	0.676	0.790*	0.813*	0.867**	0.688	0.768*	0.728*	1.000

表 6 沃柑果实品质与土壤营养成分相关性分析

指标	相关系数										
	pH 值	AP 含量	有机质含量	AN 含量	TN 含量	TP 含量	TK 含量	有效锌含量	有效硼含量	有效铝含量	全硒含量
单果重	0.694	0.769*	0.309	0.601	0.775*	0.818*	0.855**	0.733*	0.788*	0.776*	0.814*
纵径	0.284	0.214	-0.198	-0.067	0.263	-0.081	0.021	0.255	0.333	0.016	0.038
横径	0.283	0.212	-0.231	-0.091	0.317	0.004	0.056	0.309	0.360	0.105	0.051
果皮厚度	-0.223	-0.170	-0.554	-0.302	-0.228	-0.546	-0.445	-0.250	-0.212	-0.409	-0.281
果形指数	-0.052	-0.024	0.176	0.126	-0.179	-0.151	-0.061	-0.176	-0.139	-0.185	-0.017
单果皮重	0.178	0.152	-0.351	-0.164	0.158	-0.177	-0.053	0.170	0.245	-0.054	-0.002
单果种子数	0.170	0.175	0.053	0.108	-0.011	-0.151	0.034	0.046	0.115	-0.091	0.040
单粒重	0.442	0.336	-0.026	0.146	0.294	-0.025	0.062	0.418	0.364	0.212	-0.168
果汁率	0.346	0.275	-0.191	-0.030	0.345	0.017	0.096	0.352	0.405	0.133	0.071
可食率	0.561	0.426	0.463	0.396	0.656	0.637	0.509	0.614	0.584	0.600	0.326
全糖含量	0.456	0.339	0.851**	0.607	0.338	0.493	0.441	0.367	0.316	0.420	0.203
维生素 C 含量	-0.324	-0.307	-0.070	-0.304	-0.040	0.118	-0.016	-0.258	-0.129	-0.171	0.286
可滴定酸含量	-0.853**	-0.823*	-0.403	-0.665	-0.791*	-0.552	-0.650	-0.853**	-0.846**	-0.716*	-0.476
可溶性固形物	0.081	0.073	0.685	0.397	0.067	0.360	0.296	0.030	0.027	0.186	0.274
糖酸比	0.921**	0.837**	0.612	0.794*	0.785*	0.627	0.688	0.881**	0.823*	0.781*	0.377
固酸比	0.952**	0.907**	0.654	0.865**	0.843**	0.702	0.778*	0.925**	0.885**	0.843**	0.519

赵浩彤, 祁愉欢, 唐兆成, 等. 海南野生桑黄多糖的提取优化及其抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(22): 213-219.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.22.029

海南野生桑黄多糖的提取优化及其抗氧化活性

赵浩彤¹, 祁愉欢², 唐兆成³, 戚维聪³, 张保龙³

(1. 江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013; 2. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866;

3. 江苏省农业科学院种质资源与生物技术研究所, 江苏南京 210014)

摘要:以海南省五指山野生桑黄子实体为原料,旨在通过科学手段优化其多糖成分的热水浸提工艺,并深入评估该多糖的体外抗氧化活性,以期天然抗氧化剂的开发提供坚实的理论支撑。研究过程中,采用单因素试验与响应面分析法相结合的方式,系统探究提取温度(85、90、95 ℃)、提取时间(1.5、2.0、2.5 h)及料液比(1:10、1:20、1:30)(g:mL)这3个核心参数对多糖得率的具体影响,并采用 ABTS⁺ 自由基清除法、羟自由基清除法以及铁离子还原能力法测定其抗氧化活性。结果表明,最佳提取工艺条件为温度 85 ℃、时间 2 h、料液比 1 g:20 mL,在此条件下,多糖的实际得率高达 0.71%,与模型预测值高度一致,充分验证了优化工艺的准确性。进一步分析显示,所得多糖总糖含量为 44.76%、还原糖含量为 13.30%。尤为重要的是,体外抗氧化试验揭示,桑黄多糖对 ABTS⁺ 自由基和羟自由基的清除能力展现出显著的浓度依赖性,最高清除率分别达 93.29% 和 69.71%,接近阳性对照(维生素 C)的效果;同时,其在 10 mg/mL 浓度时的铁离子还原力也达到了 6.20 mmol/L。综上所述,本研究优化了海南省五指山野生桑黄多糖的提取工艺,明确其显著的体外抗氧化活性,为后续产业化开发奠定了基础。

关键词:桑黄;多糖;热水浸提;提取工艺;抗氧化活性

中图分类号:TS201.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)22-0213-07

桑黄(*Phellinus linteus*)作为珍稀的药用真菌,广泛分布于亚洲、欧洲和北美洲的森林中^[1],海南

桑黄是海南热带森林中的珍贵药用真菌,野生桑黄主要分布于保亭、五指山等地。桑黄自古以来就被视为一种具有多种药用价值的真菌,其生物活性主要源于多糖、多酚、黄酮和三萜类等成分^[2-5]。桑黄多糖是其核心功能成分,具有显著的免疫调节、抗肿瘤、抗氧化及抗炎活性^[6-9]。近年来,现代科学技术的发展促进了对桑黄多糖药理作用与化学成分深入研究,引发了广泛的科研关注。

收稿日期:2025-08-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:32172047)。

作者简介:赵浩彤(2000—),女,江苏徐州人,硕士研究生,主要从事功能性食品研究。E-mail:zht406406@163.com。

通信作者:张保龙,博士,研究员,主要从事作物分子育种研究。E-mail:zhbl2248@hotmail.com。

[5] 黄其椿,李果果,陈东奎,等. 广西沃柑产业发展现状与对策建议[J]. 中国南方果树,2020,49(5):135-141,149.

[6] 习建龙,谢上海,李航,等. 赣南脐橙果实品质现状及分布特征分析[J]. 中国南方果树,2024,53(1):9-13.

[7] 袁洁,区善汉,邓荫伟. 柑橘果实品质改善影响因素及品质提升主要技术研究进展[J]. 南方园艺,2022,33(4):71-74.

[8] 沈德绪. 果树育种[M]. 北京:中国农业出版社,1984:25-30.

[9] 黄其椿,汪妮娜,黄燕晓,等. 广西沃柑果实横径生长动态及模型构建[J]. 果树学报,2024,41(4):764-776.

[10] 张社南,贺申魁,梅正敏,等. 沃柑的叶果比及其对产量与果实品质的影响[J]. 南方园艺,2020,31(6):17-21.

[11] 苏亮亮,曹洪波,冯妍,等. ‘深州蜜桃’园土壤养分与果实品质相关性[J]. 经济林研究,2024,42(2):249-256.

[12] 王季姣,潘越,王世伟,等. 土壤养分与北冰红山葡萄果实品质间的典型相关性分析[J]. 新疆农业科学,2024,61(2):

355-364.

[13] 侯永侠,车畅,温璇,等. 草莓果实品质及其与土壤养分的相关性分析[J]. 沈阳农业大学学报,2024,55(2):153-162.

[14] 刘志宗,王晟,陈亚俊,等. 褚橙果实品质指标与土壤养分状况关联分析[J]. 中国土壤与肥料,2023(7):182-190.

[15] 郑锡良,孙鹏,戚行江,等. 杨梅果实品质指标与土壤肥力因子的相关性分析[J]. 浙江农业科学,2024,65(9):2112-2118.

[16] 李祥,任燕燕,金晶,等. 野生刺梨果实品质特征及营养成分与生长土壤关系分析[J]. 安徽农学通报,2024,30(20):28-32.

[17] 孙鹏,郑锡良,梁森苗,等. 影响不同杨梅品种果实品质形成的土壤因子差异分析[J]. 浙江农业科学,2024,65(8):1826-1832.

[18] 李跃琼,方吉祥,白华飞,等. 优化施肥对沃柑品质和产量的影响[J]. 云南农业,2024(4):75-77.