

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.05.007

陈雅亚, 董晓丽, 柴沙沙, 等. 基质土壤与氮钾配合施用对菜用甘薯品质的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(5): 77-86.

基质土壤与氮钾配合施用对菜用甘薯品质的影响

陈雅亚^{1,2}, 董晓丽³, 柴沙沙², 王连军²,
雷剑², 靳晓杰², 杨新笋², 张文英¹

1. 长江大学 农学院, 湖北 荆州 434000; 2. 湖北省农业科学院 粮食作物研究所, 武汉 430000;
3. 麻城市三河口镇农业服务中心, 湖北 麻城 438300

摘要: 探究不同基质土壤中追施不同氮钾肥对菜用甘薯茎尖品质的影响, 采用盆栽试验, 以湖北主栽菜用甘薯“鄂菜薯 10 号”为供试材料, 在泥炭土、有机基质栽培土、田间土中追施不同氮钾肥处理, 测定菜用甘薯在不同处理下可溶性总糖、蔗糖、硝酸盐、总黄酮、总酚等品质指标。结果表明: 增施氮肥降低了菜用甘薯茎尖总酚、总黄酮、绿原酸质量分数, 提高了蔗糖和硝酸盐质量分数; 钾肥降低了可溶性总糖质量分数; 3 种基质土壤类型对菜用甘薯硝酸盐呈显著正相关性。综合而言, 3 种基质土壤中田间土种植菜用甘薯总糖和多酚类物质积累最多, 泥炭土中氮、钾肥追施量分别为 3.22 g/m^2 , 0.69 g/m^2 , 有机基质栽培土每次追施钾肥 0.69 g/m^2 , 田间土不施肥时可溶性总糖、蔗糖、总黄酮、总酚、绿原酸等积累效果最佳。

关键词: 菜用甘薯; 土壤肥力; 氮钾施肥; 糖分积累; 总酚

中图分类号: S531

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2024)05-0077-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Interaction between Substrate and Fertilizer on Quality of Vegetable Sweet Potato

CHEN Yaya^{1,2}, DONG Xiaoli³, CHAI Shasha², WANG Lianjun²,
LEI Jian², JIN Xiaojie², YANG Xinsun², ZHANG Wenying¹

1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434000, China;
2. Institute of Food Crops, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430000, China;
3. Macheng Sanhekou Town Agricultural Service Center, Macheng Hubei 438300, China

收稿日期: 2023-02-08

基金项目: 国家现代甘薯产业技术体系建设项目(CARS-10); 湖北省农业科学院甘薯特色学科项目(2019TSXK06); 湖北省农业科技创新中心项目(2020-620-000-001-007); 农渔光(林光)互补发电项目(2021420120003603)。

作者简介: 陈雅亚, 硕士研究生, 主要从事甘薯栽培研究。

通信作者: 张文英, 博士, 教授, 博士研究生导师。

Abstract: The effects of different nitrogen and potassium fertilizers on the quality of stem tip of vegetable sweet potato in different substrate soils were investigated by pot experiment. The main vegetable sweet potato cultivar “Ecaishu 10” in Hubei was used as the test material, and different nitrogen and potassium fertilizers were applied in peat soil, organic substrate soil and field soil. The quality indexes of soluble total sugar, sucrose, nitrate, total flavonoids and total phenols of vegetable sweet potato under different treatments were determined. The results showed that the application of nitrogen fertilizer reduced the mass fraction of total phenols, total flavonoids and chlorogenic acid in the stem tip of vegetable sweet potato, and increased the mass fraction of sucrose and nitrate. Potassium fertilizer reduced the total soluble sugar content. There was a significant positive correlation between the three types of substrate soils and the nitrate content of vegetable sweet potato. In general, the total sugar and polyphenols of vegetable sweet potato were the most accumulated in the field soil among three kinds of substrate soils. The amount of nitrogen and potassium fertilizer topdressing in peat soil was 3.22 g/m² and 0.69 g/m², respectively. The best effect of accumulation total sugar, sucrose, total flavonoids, total phenols and chlorogenic acid was achieved when 0.69 g/m² potassium fertilizer applied to the organic substrate soil each time, and the field soil without fertilization.

Key words: leaf-vegetable sweet potato; soil fertility; nitrogen potassium fertilization; sugar accumulation; total phenol

甘薯[*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]是全球重要的粮食、饲料、蔬菜、加工原料和生物能源作物^[1],在我国国民经济中占有重要地位.菜用甘薯是以鲜嫩茎叶作为主要食用部位的新型专用甘薯,具有茎叶再生能力强、口感滑嫩、营养丰富等特点^[2].菜用甘薯是一种绿色保健型蔬菜,在多个国家被誉为“蔬菜皇后”“长寿菜”,因其营养丰富、保健作用强、口感风味好深受消费者青睐^[3].

随着蔬菜栽培模式向多元化的方向发展,基质土壤作用日益凸显.基质土壤栽培作为根域限制栽培,相比大田栽培,更有利于提高养分利用率、改善果实品质^[4].土壤长期高强度耕作及过量施肥对土壤的生态环境造成了破坏^[5],致使土壤出现酸化、盐渍化及有害元素积累等问题^[6].氮钾施用不平衡不仅造成严重的生态环境污染,也是影响作物产量和品质的重要因素.有研究表明,合理氮钾供应可提高火龙果的产量和品质^[7],缓解甘薯茎叶旺长的趋势^[8].菜用甘薯茎尖的长短与叶片质量支撑植株获取更多光合产物^[9],采收后及时追肥满足其生长尤为重要.已有研究表明,菜用甘薯采收后追施氮肥 11 d 左右硝酸盐质量分数下降到未施用氮肥水平^[10].不同施氮量^[11]、不同氮素形态^[12]对菜用甘薯产量和品质具有显著影响.

可溶性总糖、总黄酮、总酚等指标是衡量菜用甘薯食味品质的重要指标^[13].目前菜用甘薯生产上关于氮肥施用以及基质栽培配方上的研究较多,对于基质栽培中氮钾施用量的研究报道较少.分析在不同基质土壤中合理追施氮钾肥对菜用甘薯品质的效应,促进菜用甘薯高效绿色生产具有重要意义.本研究以菜用甘薯品种“鄂菜薯 10 号”为供试材料,通过在泥炭土、有机基质栽培土、田间土中施用不同氮钾配比肥料,考察对主要品质指标的影响,为有效改善菜用甘薯茎尖品质、平衡施肥提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验设在湖北省农业科学院粮食作物研究所试验基地(30°29′N, 114°18′E),位于长江中游,属亚热带季风气候.全省平均气温为 15~17℃,最冷月(1月)平均气温为 2~4℃,最热月(7月)为 27~29℃,无霜期 230~300 d.降雨分布具有明显的季节性,夏季的降雨量为 300~700 mm,冬季的降雨量为 30~190 mm.土壤类型包括 3 种不同基质土壤:泥炭土、有机基质栽培土、田间土,基础地力见表 1.

表 1 供试 3 种类型基质土壤基础地力

基质土壤类型	碱解氮/(mg · kg ⁻¹)	速效磷/(mg · kg ⁻¹)	速效钾/(mg · kg ⁻¹)	有机质/ %
泥炭土	68.81	11.19	165.46	6.31
有机基质栽培土	83.39	89.29	265.77	10.48
田间土	29.72	86.99	243.34	0.60

1.2 试验设计

采用两因素裂区试验设计,主区为 3 种不同基质土壤,分别为泥炭土、有机基质栽培土、田间土,副区为 9 个不同氮钾肥组合(表 2),共设置 27 个处理. 试验材料为湖北主要生产种植的菜用甘薯“鄂菜薯 10 号”(E10),于 2021 年 5 月选取健康且大小均一的甘薯幼苗植入直径为 38 cm 的盆钵中,每盆种植 4 株,每个处理 3 盆. 定植 2 周后打顶,第 30 d 开始取茎尖样(生长点 10~15 cm),采收完成后追施肥料,间隔 15 d 采收测定品质指标,全生长期共追肥 9 次. 试验所用氮钾肥料分别为尿素(46% N)和氯化钾(60% P₂O₃),施肥过程肥料溶于水(1 L/盆),其他同常规管理措施.

表 2 氮钾肥配施试验方案

处理		氮肥		钾肥	
		尿素/(kg · hm ⁻²)	追施/(g · m ⁻²)	氯化钾/(kg · hm ⁻²)	追施/(g · m ⁻²)
1	N0K0	0	0	0	0
2	N0K2	0	0	62	0.69
3	N1K2	145	1.61	62	0.69
4	N2K2	290	3.22	62	0.69
5	N2K0	290	3.22	0	0
6	N2K1	290	3.22	31	0.35
7	N2K3	290	3.22	93	0.93
8	N3K2	435	4.83	62	0.69
9	N1K1	145	1.61	31	0.35

1.3 指标测定

可溶性总糖测定采用蒽酮比色法^[14],总酚测定采用福林酚法^[15],总黄酮测定采用硝酸铝显色法^[16],硝态氮测定采用比色法.

1.4 数据分析

利用 Microsoft Excel 2016 进行数据处理,并用 SPSS 22.0 对试验数据进行差异显著性分析和相关性分析.

2 结果与分析

2.1 3 种土壤基质不同施肥水平对菜用甘薯茎尖可溶性总糖、蔗糖、硝酸盐的影响

试验结果显示,菜用甘薯可溶性总糖、蔗糖和硝酸盐在 3 种不同基质土壤中固定钾肥施用氮肥或是固定氮肥施用钾肥差异明显且各有不同.

固定钾肥增施氮肥时,泥炭土中大多可溶性总糖和蔗糖随着施氮量的增加而增加而后略有降低,氮肥追施量在 3.22 g/m²(N2K2)时质量分数最高,有机基质栽培土中菜用甘薯可溶性总糖随着施氮量的增加呈下降趋势,而蔗糖呈先降低再升高趋势,施氮量在 1.61 g/m²(N1K2)时蔗糖质量分数最小,之后随着施氮量的增加而增大. 田间土种植菜用甘薯可溶性总糖和蔗糖随着施氮量的增加先降低再升高,施氮量在 4.83 g/m²(N3K2)时可溶性总糖和蔗糖质量分数较高,硝酸盐在 3 种基质土壤中随着氮肥的增加均呈现出先降低再升高的趋势,有机基质栽培土和田间土施氮量在 1.61 g/m²(N1K2)时硝酸盐质量

分数最低，泥炭土中施氮量在 3.22 g/m²(N2K2)时硝酸盐质量分数最低(表 3)。

表 3 固定钾肥增施氮肥可溶性总糖、蔗糖、硝酸盐质量分数

基质土壤	增施氮肥处理	可溶性总糖/(mg·g ⁻¹)	蔗糖/(mg·g ⁻¹)	硝酸盐/(μg·g ⁻¹)
泥炭土	N0K2	9.15±0.11b	5.10±0.12b	348.83±9.72ab
	N1K2	9.24±0.11b	5.32±0.18b	344.78±0.95b
	N2K2	10.05±0.19a	6.15±0.22a	340.82±0.42b
	N3K2	10.03±0.26a	5.97±0.28a	369.85±11.7a
有机基质栽培土	N0K2	9.34±0.04a	4.66±0.07ab	363.92±5.96a
	N1K2	9.22±0.19a	4.28±0.29b	337.76±12.73b
	N2K2	8.93±0.09b	4.46±0.098b	357.94±11.78ab
	N3K2	8.84±0.13b	4.98±0.26a	353.73±2.44ab
田间土	N0K2	10.43±0.16a	5.94±0.31ab	349.67±4.89b
	N1K2	9.92±0.10bc	5.62±0.24b	328.89±5.78c
	N2K2	9.61±0.14c	5.85±0.33ab	346.62±2.72b
	N3K2	10.31±0.39ab	6.46±0.43a	367.23±1.48a

注：小写字母不同表示 $p<0.05$ ，差异有统计学意义。

氮肥固定随着钾肥的增加可溶性总糖在 3 种基质土壤中均呈现出降低的趋势，蔗糖和硝酸盐在有机基质栽培土和田间土中随着钾肥施用量的增加而降低，在泥炭土中则是先降低再升高，其中泥炭土中蔗糖质量分数在追施钾肥量 0.69 g/m²(N2K2)时达到最高，与未施钾肥处理差异无统计学意义；硝酸盐质量分数在追施钾肥量 0.35 g/m²(N2K1)时达到最低。有机基质栽培土中追施钾肥量 0.69 g/m²(N2K2)时可溶性总糖和蔗糖变化无统计学意义，但在追施钾肥量 0.93 g/m²(N2K3)时质量分数会显著降低。田间土中钾肥追施量 0.35 g/m²(N2K1)时可溶性总糖和蔗糖质量分数显著下降(表 4)。

表 4 固定氮肥增施钾肥可溶性总糖、蔗糖、硝酸盐质量分数

基质土壤	增施钾肥处理	可溶性总糖/(mg·g ⁻¹)	蔗糖/(mg·g ⁻¹)	硝酸盐/(μg·g ⁻¹)
泥炭土	N2K0	10.79±0.36a	5.87±0.30a	338.56±2.78b
	N2K1	9.75±0.064b	5.37±0.15b	259.34±0.33c
	N2K2	10.05±0.19b	6.15±0.22a	340.82±0.42b
	N2K3	9.66±0.27b	6.05±0.29a	357.21±0.56a
有机基质栽培土	N2K0	9.00±0.13a	4.31±0.11a	371.43±0.30a
	N2K1	8.60±0.17a	4.53±0.21a	357.62±3.78ab
	N2K2	8.93±0.09a	4.46±0.10a	357.94±11.78ab
	N2K3	8.10±0.05b	4.17±0.14b	347.89±3.03c
田间土	N2K0	10.35±0.31a	6.44±0.20a	385.33±10.82a
	N2K1	9.93±0.15b	5.89±0.23b	388.61±13.10a
	N2K2	9.62±0.14b	5.85±0.33b	346.62±2.72b
	N2K3	9.68±0.07b	5.59±0.39b	357.45±1.78b

注：小写字母不同表示 $p<0.05$ ，差异有统计学意义。

氮钾在不同基质土壤中互作对糖和硝酸盐影响明显(表 5)。不同追施肥料处理可溶性总糖和蔗糖质量分数由大到小依次为田间土、泥炭土、有机基质栽培土。硝酸盐质量分数由大到小依次为田间土、有机基质栽培土、泥炭土。泥炭土中菜用甘薯可溶性总糖质量分数最大值在单施氮肥 3.22 g/m²(N2K0), 与未施肥相比增加了 12%, 硝酸盐质量分数在追施氮肥 3.22 g/m²、钾肥 0.35 g/m²(N2K1)时最低。有机基质栽培土中可溶性总糖和蔗糖质量分数在追施钾肥 0.69 g/m²(N0K2)时较大, 与未施肥相比各增加 5%, 18%; 硝酸盐质量分数在单施氮肥 3.22 g/m²(N2K0)时最高, 追施氮肥 1.61 g/m²、钾肥 0.35 g/m²(N1K1)时最低。田间土中可溶性总糖和蔗糖质量分数氮钾肥追施量在 4.83 g/m², 0.69 g/m²(N3K2)时较大, 但与未施肥相比差异无统计学意义; 硝酸盐质量分数氮钾肥追施量在 1.61 g/m², 0.69 g/m²(N1K2)时积累最低, 追施氮肥 1.61 g/m² 和钾肥 0.35 g/m²(N1K1)时最高。

表 5 不同基质土壤中氮钾互作部分品质指标质量分数

基质土壤	处理	可溶性总糖/(mg · g ⁻¹)	蔗糖/(mg · g ⁻¹)	硝酸盐/(μg · g ⁻¹)
泥炭土	N0K0	9.67±0.23b	5.48±0.16b	262.76±1.33c
	N0K2	9.16±0.10c	5.10±0.12b	348.83±9.72ab
	N1K2	9.24±0.11c	5.32±0.18b	344.78±0.95b
	N2K2	10.05±0.19b	6.15±0.22a	340.82±0.42b
	N2K0	10.79±0.36a	5.87±0.30a	338.56±2.78b
	N2K1	9.75±0.06b	5.37±0.15b	259.34±0.33c
	N2K3	9.66±0.27b	6.05±0.29a	357.21±5.56a
	N3K2	10.04±0.26b	5.97±0.28a	369.85±11.70a
	N1K1	9.99±0.31b	5.34±0.25b	272.81±2.54c
有机基质栽培土	N0K0	8.93±0.16bcd	3.96±0.12d	314.24±2.74cd
	N0K2	9.34±0.04a	4.66±0.07a	363.92±5.96a
	N1K2	9.23±0.19bc	4.28±0.29cd	337.76±12.73b
	N2K2	8.93±0.09bcd	4.46±0.10bc	357.94±11.78ab
	N2K0	9.00±0.13bcd	4.31±0.11bcd	371.43±0.30a
	N2K1	9.00±0.17bcd	4.53±0.21bc	357.62±3.78ab
	N2K3	8.60±0.05d	4.17±0.14cd	347.89±3.03c
	N3K2	8.84±0.13cd	4.98±0.26a	353.73±2.44ab
	N1K1	9.69±0.52a	4.29±0.27cd	310.39±7.86d
田间土	N0K0	10.39±0.073a	6.03±0.31abc	367.56±1.02c
	N0K2	10.43±0.16a	5.94±0.31abc	349.67±4.89b
	N1K2	9.92±0.09bc	5.62±0.24cd	328.89±5.78c
	N2K2	9.61±0.13c	5.85±0.33c	346.62±2.72b
	N2K0	10.35±0.31a	6.44±0.20ab	385.33±10.82a
	N2K1	9.93±0.15bc	5.89±0.23bc	388.61±13.10a
	N2K3	9.68±0.07bc	5.59±0.39cd	357.45±1.78b
	N3K2	10.31±0.39a	6.46±0.43a	367.23±1.48a
	N1K1	10.05±0.23ab	5.26±0.05d	401.0±1.03a

注: 小写字母不同表示 $p<0.05$, 差异有统计学意义。

试验结果表明,甘薯茎尖氮肥对蔗糖和硝酸盐呈显著正相关(表 6),而氮肥对可溶性总糖相关性为 0,这种结果可能与土壤环境等因素有关;钾肥对可溶性总糖呈显著负相关;基质土壤因子对硝酸盐呈显著正相关.

表 6 可溶性总糖、蔗糖、硝酸盐在不同处理下相关性分析

	可溶性总糖	蔗糖	硝酸盐
可溶性总糖	1		
蔗糖	0.772 ^{**}	1	
硝酸盐	0.054	0.184	1
氮肥	0	0.236 [*]	0.295 ^{**}
钾肥	-0.262 [*]	0.031	0.191
基质土壤	0.180	0.145	0.525 ^{**}

注: * 表示 $p<0.05$, ** 表示 $p<0.01$, 差异有统计学意义.

2.2 3 种基质土壤中不同施肥水平对菜用甘薯茎尖总酚、总黄酮、绿原酸的影响

多酚类物质被称为“第七类营养素”,总黄酮、绿原酸是其主要成员. 本研究表明,泥炭土中固定钾增施氮肥时总酚、总黄酮和绿原酸均呈现出先下降后上升再下降的趋势,在氮施用量 3.22 g/m^2 (N2K2) 时质量分数达到最高. 总酚和总黄酮在有机基质栽培土和田间土中随着氮肥施用量的增加大幅度降低,其中总酚在有机基质栽培土和田间土降幅都在 13% 左右. 绿原酸在有机基质栽培土中施氮量在 1.61 g/m^2 (N1K2) 时达到最高值后随着施氮量的增加而降低,而在田间土中绿原酸质量分数随着施氮量的增加持续下降(表 7).

固定氮肥增施钾肥时,总酚、总黄酮、绿原酸在泥炭土和有机基质栽培土中随着钾肥增加呈先升后降的趋势. 泥炭土和有机基质栽培土中钾肥追施量在 0.35 g/m^2 (N2K1) 时总酚、总黄酮质量分数达到最高;泥炭土中钾肥追施量在 0.35 g/m^2 (N2K1) 时绿原酸质量分数最高,有机基质栽培土中钾肥追施量在 0.69 g/m^2 (N2K2) 时绿原酸质量分数最高. 田间土中总酚和绿原酸质量分数随着钾肥增加先降低后升高再降低,总黄酮质量分数随着钾肥增加先升高后降低(表 8).

表 7 固定钾肥增施氮肥处理总酚、总黄酮、绿原酸质量分数 / (mg · g⁻¹)

基质土壤	增施氮肥处理	总酚	总黄酮	绿原酸
泥炭土	N0K2	32.32±0.06b	15.19±0.12a	23.51±0.19a
	N1K2	29.50±0.05d	13.19±0.35c	20.14±0.18c
	N2K2	32.94±0.29a	15.52±0.16a	23.80±0.19a
	N3K2	31.62±0.09c	13.91±0.30b	20.63±0.24b
有机基质栽培土	N0K2	36.15±0.10a	18.37±0.18a	21.32±0.08b
	N1K2	33.03±0.12b	13.85±0.27b	22.90±0.03a
	N2K2	31.11±0.06d	10.68±0.09c	21.11±0.14b
	N3K2	31.34±0.15c	10.82±0.29c	19.93±0.21c
田间土	N0K2	35.12±0.06a	18.48±0.17a	24.12±0.16a
	N1K2	32.80±0.11b	15.67±0.34b	21.85±1.83b
	N2K2	31.53±0.12c	14.08±0.15c	21.80±0.19b
	N3K2	30.50±0.16d	13.11±0.22d	20.86±0.11b

注: 小写字母不同表示 $p<0.05$, 差异有统计学意义.

表 8 固定氮肥增施钾肥处理总酚、总黄酮、绿原酸质量分数 /(mg · g⁻¹)

基质土壤	增施钾肥处理	总酚	总黄酮	绿原酸
泥炭土	N2K0	32.66±0.13b	15.05±0.13b	21.71±0.35c
	N2K1	33.08±0.14a	15.85±0.17a	24.55±0.34a
	N2K2	32.94±0.29ab	15.52±0.16a	23.80±0.19b
	N2K3	30.34±0.06c	13.81±0.27c	21.49±0.38c
有机基质栽培土	N2K0	30.37±0.16c	10.07±0.22b	19.92±0.31b
	N2K1	32.16±0.07a	10.76±0.13a	19.54±0.19c
	N2K2	31.11±0.06b	10.68±0.09a	21.11±0.14a
	N2K3	31.26±0.20b	10.59±0.16a	19.19±0.11c
田间土	N2K0	31.77±0.15a	13.52±0.63b	21.86±0.22a
	N2K1	30.96±0.09b	14.04±0.16a	20.55±0.06b
	N2K2	31.53±0.12a	14.08±0.15a	21.80±0.19a
	N2K3	30.31±0.28c	13.47±0.13b	19.25±0.18c

注：小写字母不同表示 $p<0.05$ ，差异有统计学意义。

氮钾在不同基质土壤中互作对总酚、总黄酮、绿原酸影响明显。未施肥时总酚类物质积累量在田间土中最多，泥炭土和有机基质栽培土变化不大。泥炭土中氮钾互作菜用甘薯总酚、总黄酮、绿原酸质量分数在氮追施量 3.22 g/m²、钾追施量 0.35 g/m²(N2K1)时最大。有机基质栽培土中菜用甘薯总酚、总黄酮质量分数在仅追施钾肥 0.69 g/m²(N0K2)时最高，与未施肥相比各增加 15%和 34%；绿原酸氮钾肥追施量分别在 1.61 g/m²，0.69 g/m²(N1K2)时最高。田间土中总酚、总黄酮、绿原酸质量分数最大值出现在未施肥处理组，施肥后反而降低，降幅分别为 19%、32%、31%(表 9)。

表 9 不同基质土壤中氮钾互作处理总酚、总黄酮、绿原酸质量分数 /(mg · g⁻¹)

基质土壤	处理	总酚	总黄酮	绿原酸
泥炭土	N0K0	31.64±0.17d	14.13±0.21d	21.23±0.18d
	N0K2	32.32±0.06c	15.19±0.12bc	23.51±0.18b
	N1K2	29.50±0.05f	13.19±0.35e	20.14±0.19f
	N2K2	32.94±0.29a	15.52±0.16ab	23.80±0.20b
	N2K0	32.66±0.13b	15.05±0.13c	21.71±0.35c
	N2K1	33.08±0.13a	15.85±0.17a	24.55±0.34a
	N2K3	30.34±0.06e	13.81±0.27d	21.49±0.38cd
	N3K2	31.62±0.09d	13.91±0.30d	20.63±0.24e
	N1K1	29.18±0.06g	10.95±0.12f	17.80±0.10g
有机基质栽培土	N0K0	31.57±0.10d	13.74±0.27c	19.79±0.14cd
	N0K2	36.15±0.10a	18.37±0.18a	21.32±0.08b
	N1K2	33.03±0.12b	13.85±0.27c	22.90±0.02a
	N2K2	31.11±0.06f	10.68±0.09d	21.11±0.14b
	N2K0	30.37±0.16g	10.07±0.22e	19.92±0.31c
	N2K1	32.16±0.07c	10.76±0.13d	19.54±0.19d
	N2K3	31.26±0.20ef	10.59±0.16d	19.19±0.11e
	N3K2	31.34±0.15e	10.82±0.26d	19.93±0.21c
	N1K1	32.92±0.10b	15.01±0.22b	21.06±0.22b

续表 9

基质土壤	处理	总酚	总黄酮	绿原酸
田间土	N0K0	37.61±0.11a	19.30±0.19a	27.98±0.16a
	N0K2	35.12±0.06b	18.48±0.17b	24.12±0.16b
	N1K2	32.80±0.11c	15.67±0.34c	21.85±1.83c
	N2K2	31.53±0.12d	14.08±0.15d	21.80±0.19c
	N2K0	31.77±0.15d	13.52±0.63e	21.86±0.22c
	N2K1	30.96±0.09e	14.04±0.16d	20.55±0.06d
	N2K3	30.31±0.28f	13.47±0.13e	19.25±0.18e
	N3K2	30.50±0.16f	13.11±0.22e	20.86±0.11cd
	N1K1	30.86±0.06e	14.13±0.17d	21.17±0.10cd

注：小写字母不同表示 $p<0.05$ ，差异有统计学意义。

相关性分析结果表明，施氮量对甘薯多酚类物质呈显著负相关，施钾量与总酚类物质呈负相关关系，但未达到显著水平。基质土壤对总黄酮、总酚、绿原酸呈正相关关系，亦未达到显著水平(表 10)。

表 10 总酚、总黄酮、绿原酸在不同处理下相关性分析

	总酚	总黄酮	绿原酸
总酚	1		
总黄酮	0.802 ^{**}	1	
绿原酸	0.755 ^{**}	0.754 ^{**}	1
氮肥	−0.485 ^{**}	−0.555 ^{**}	−0.335 ^{**}
钾肥	−0.169	−0.08	−0.152
基质土壤	0.199	0.157	0.102

注：* 表示 $p<0.05$ ，** 表示 $p<0.01$ ，差异有统计学意义。

3 讨论

可溶性总糖是甘薯甜度的重要来源，是甘薯食味的重要指标^[17-18]。研究表明增施氮钾肥可以提高鲜食性甘薯葡萄糖和蔗糖的积累^[11]，促进叶片光合产物的输出^[19]，调节作物其他矿质营养^[20]。甘薯生长中后期施用钾肥降低了甘薯茎基部蔗糖和淀粉质量分数，显著提高了功能叶蔗糖的积累^[21]。本试验氮追施量对菜用甘薯茎尖品质影响蔗糖和硝酸盐质量积累与前人研究一致，但在不同土壤中总糖积累存在差异。泥炭土中氮肥增加有利于糖类物质的增加，有机基质栽培土中氮肥增加可溶性总糖呈现出下降的趋势，可能是有机基质栽培土壤肥力高增施氮肥对糖分积累没有明显效用，甚至起到负效用，这与王萌等^[22]观点相符。在相同氮素条件下，钾肥增加降低茎尖可溶性总糖的积累，这可能是因为甘薯品种类型的差异，因此对不同类型甘薯品种进行施钾效用研究具有重要的实践意义。

酚类化合物是植物体内最丰富且具有抗氧化、清除自由基功能的次生代谢产物。氮肥供应影响黄酮类物质在多种植物上得到验证。缺氮诱导黄酮类合成相关基因上调表达，促进相关物质合成^[23]。付立忠等^[24-25]表明降低氮钾水平，三叶青茎叶总黄酮、总酚质量分数和抗氧化活性均呈稳定上升趋势。Kováčik 等^[26]发现氮素可以降低洋甘菊叶片中总黄酮的积累。葛芳杰等^[27]通过不同的氮磷胁迫诱导了 PAL 酶活性的增强，初生代谢物在植物体多种代谢途径的参与下合成其他次生代谢物。本研究中 3 种基质土壤甘薯茎尖随着氮肥的增加，总黄酮、总酚、绿原酸质量分数积累降低，进一步证明缺氮对植物总酚、总黄酮和绿原酸的合成有促进作用。前人对施用钾肥对不同植物或不同组织总酚、总黄酮、绿原酸类物质的影响研究报道并不一致。Awad 等^[28]指出苹果皮中钾素施用量与绿原酸量成反比，而对黄酮类物质无影响。王小龙

等^[29]发现葡萄皮中总黄酮质量分数在末花期与土壤钾呈正相关,而在成熟期与土壤钾呈负相关. 本研究中氮肥追施量在 3.22 g/m² 以内时增施一定量的钾肥,其总酚、总黄酮和绿原酸质量分数在除田间土外呈上升趋势,说明在一定范围内钾素可促进菜用甘薯茎尖合成总酚、总黄酮和绿原酸. 未施肥处理田间土总黄酮、总酚、绿原酸积累最多,这可能与田间土理化性状有关,当植物缺乏营养时,光合产物受到限制^[30],更多的碳被用于次生代谢物的生成^[31-32].

关注肥料之间的相互作用、施肥以及土壤之间的交互作用,有利于植物体内营养平衡^[33]. 后猛等^[34]研究认为高肥力土壤中施用单一肥料会对甘薯产生不利影响. 本研究表明增施氮钾肥在 3 种基质土壤中对茎尖品质的影响各不相同,只有根据不同土壤合理配施氮钾肥才能提高肥效,进一步提高菜用甘薯的薯尖品质. 该试验仅仅探讨施肥对品质的影响并未将产量的影响考虑进来,为了菜用甘薯高产优质,建议在制定菜用甘薯施肥技术时根据土壤地力合理减施氮钾肥.

4 结论

追施氮肥能显著调节菜用甘薯茎尖蔗糖、硝酸盐、总酚、总黄酮和绿原酸质量分数,追施钾肥可调节菜用甘薯茎尖可溶性总糖的积累,基质土壤类型影响茎尖硝酸盐质量分数. 泥炭土中氮钾肥每次追施量在 3.22 g/m², 0.69 g/m², 有机基质栽培土每次追施钾肥在 0.69 g/m², 田间土不追肥时可溶性总糖、蔗糖、总黄酮、总酚、绿原酸等品质积累效果最好.

参考文献:

[1] 王欣,李强,曹清河,等. 中国甘薯产业和种业发展现状与未来展望 [J]. 中国农业科学, 2021, 54(3): 483-492.

[2] 郭小丁,张允刚,史新敏. 菜用型甘薯嫩梢的开发利用 [J]. 中国蔬菜, 2001(4): 40-41.

[3] 夏秀华. 我国设施园艺产业发展对策 [J]. 现代园艺, 2014(8): 26.

[4] 李旺雄,张洋,唐中祺,等. 平衡施肥对设施基质栽培番茄生长、品质、矿质元素含量与产量的影响 [J]. 浙江农业学报, 2022, 34(8): 1648-1660.

[5] 张电学,韩志卿,王秋兵,等. 长期不同施肥制度下土壤有机质质量动态变化规律 [J]. 土壤通报, 2007, 38(2): 251-255.

[6] 刘强,袁延飞,刘一帆,等. 生物炭对盐渍化土壤改良的研究进展 [J]. 地球科学进展, 2022, 37(10): 1005-1024.

[7] 李莉婕,赵泽英,黎瑞君,等. 水氮钾耦合对火龙果产量和品质的调控效应 [J]. 南方农业学报, 2022, 53(3): 859-868.

[8] 孙哲,田昌庚,陈路路,等. 氮钾配施对甘薯茎叶生长、产量形成及干物质分配的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2021(4): 186-191.

[9] 李静,傅玉凡,黄雨,等. 10 个叶菜型甘薯品种茎尖性状的分析与评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(4): 45-53.

[10] 张小贝,朱国鹏,陈艳丽,等. 追施氮肥水平对菜用甘薯产量、品质及硝酸盐积累的影响 [J]. 热带作物学报, 2018, 39(1): 1-5.

[11] 王和寿. 不同氮素水平对叶用甘薯营养品质的影响 [J]. 作物杂志, 2022(6): 208-213.

[12] 李成阳,柴沙沙,刘意,等. 不同氮素形态配比对菜用甘薯产量和品质的影响 [J]. 热带作物学报, 2022, 43(7): 1450-1458.

[13] 梅新,杨新笋,何建军,等. 菜用甘薯新品系主要品质特征的因子分析与综合评价 [J]. 植物科学学报, 2016, 34(4): 614-621.

[14] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[15] YU Y S, XU Y J, WU J J, et al. Effect of Ultra-high Pressure Homogenisation Processing on Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Anti-glucosidase of Mulberry Juice [J]. Food Chemistry, 2014, 153: 114-120.

[16] 杨永涛. 罗布麻总黄酮的提取、分离纯化及其抗氧化性能研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2018.

[17] 闫会,李强,张允刚,等. 不同土壤类型和生态环境对紫色甘薯块根品质特性的影响 [J]. 江西农业学报, 2016,

- 28(12): 8-12.
- [18] 张毅, 孙健, 钮福祥, 等. 甘薯中糖组分含量与甜度的相关性分析 [J]. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 190-194.
- [19] 史春余, 王振林, 赵秉强, 等. 钾营养对甘薯块根薄壁细胞微结构、 ^{14}C 同化物分配和产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(3): 335-339.
- [20] 吴玥, 寇智瑞, 陈新平, 等. 氮肥供应对辣椒营养品质的影响及评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(1): 87-94.
- [21] 柳洪鹏, 史春余, 柴沙沙, 等. 不同时期施钾对甘薯光合产物运转动力的调控 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 171-180.
- [22] 王萌, 房增国, 梁斌, 等. 高肥力土壤氮钾配施对鲜食型甘薯产量及品质的影响 [J]. 华北农学报, 2016, 31(5): 199-204.
- [23] HUANG H, YAO Q Y, XIA E H, et al. Metabolomics and Transcriptomics Analyses Reveal Nitrogen Influences on the Accumulation of Flavonoids and Amino Acids in Young Shoots of Tea Plant (*Camellia sinensis* L.) Associated with Tea Flavor [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(37): 9828-9838.
- [24] 付立忠, 赵利梅, 吕惠卿, 等. 氮素水平对三叶青生长和茎叶化学成分含量及抗氧化活性的影响 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(4): 696-702.
- [25] 付立忠, 赵利梅, 吕惠卿, 等. 钾对三叶青生物量及其茎叶化学成分、抗氧化活性的影响 [J]. 中药材, 2019, 42(12): 2751-2754.
- [26] KOVÁČIK J, GRÚZ J, KLEJDUS B, et al. Accumulation of Metals and Selected Nutritional Parameters in the Field-Grown Chamomile *Anthodia* [J]. Food Chemistry, 2012, 131(1): 55-62.
- [27] 葛芳杰, 刘碧云, 鲁志营, 等. 不同氮、磷浓度对穗花狐尾藻生长及酚类物质含量的影响 [J]. 环境科学学报, 2012, 32(2): 472-479.
- [28] AWAD M A, DE JAGER A. Relationships between Fruit Nutrients and Concentrations of Flavonoids and Chlorogenic Acid in ‘Elstar’ Apple Skin [J]. Scientia Horticulturae, 2002, 92(3-4): 265-276.
- [29] 王小龙, 张正文, 钟晓敏, 等. 不同组织和土壤矿质营养与美乐葡萄果实品质的多元分析 [J]. 果树学报, 2021, 38(12): 2108-2118.
- [30] 汪顺义, 刘庆, 史衍玺, 等. 氮钾配施对甘薯光合产物积累及分配的影响 [J]. 中国农业科学, 2017, 50(14): 2706-2716.
- [31] HERMS D A, MATTSON W J. The Dilemma of Plants: To Grow or Defend [J]. The Quarterly Review of Biology, 1992, 67(3): 283-335.
- [32] IZQUIERDO A M, DEL PILAR N T M, JIMÉNEZ G S, et al. Changes in Biomass Allocation and Phenolic Compounds Accumulation due to the Effect of Light and Nitrate Supply in *Cecropia peltata* Plants [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2011, 33(6): 2135-2147.
- [33] 祖艳群, 林克惠. 氮钾营养的交互作用及其对作物产量和品质的影响 [J]. 土壤肥料, 2000(2): 3-7.
- [34] 后猛, 刘亚菊, 王欣, 等. 氮钾配施对食用甘薯产量和品质的影响 [J]. 西南农业学报, 2015, 28(1): 260-264.

责任编辑 周仁惠