

# 增施微生物肥料对长山药产量与品质的影响

刘燕燕<sup>1</sup>, 武才女<sup>1</sup>, 张杰<sup>1,2</sup>, 陈鑫<sup>1</sup>, 张英杰<sup>1</sup>, 王晓民<sup>3</sup>

(1. 山西师范大学生命科学学院 太原 030031; 2. 国家微生物肥料技术研究推广中心第24号技术推广站 山西临汾 041000; 3. 山西农业大学棉花研究所 山西运城 044000)

**摘要:** 为了探究增施微生物肥料对长山药种植过程的影响, 以传统老品种长山药为试验材料, 通过2年的田间试验, 测定长山药土壤理化性质、生长指标、品质、产量及经济效益。结果表明, 2020年各处理中T3(复合肥+生物有机肥+微生物菌剂浸泡段子+追施2次微生物菌剂)效果较好, 蛋白质含量和黏度较CK分别增加12.64%和17.54%, 多糖含量降低30.18%; 产量增加157.49%, 总产值为581 141.74元·hm<sup>-2</sup>。2021年选择经济效益最高的T3扩大面积示范种植进行验证, 其产量为20 839.95 kg·hm<sup>-2</sup>, 总产值为602 774.71元·hm<sup>-2</sup>, 分别较2020年T3增加2.56%和3.72%。因此, 结合长山药产量、农民纯收入等方面考察, 复合肥+生物有机肥+微生物菌剂浸泡段子+追施2次微生物菌剂是最佳施肥方式。

**关键词:** 长山药; 微生物肥料; 发病率; 产量; 品质

中图分类号: S632.1+S606

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)01-079-06

## Increasing microbial fertilizer affects yield and quality of long yam

LIU Yanyan<sup>1</sup>, WU Cainü<sup>1</sup>, ZHANG Jie<sup>1,2</sup>, CHEN Xin<sup>1</sup>, ZHANG Yingjie<sup>1</sup>, WANG Xiaomin<sup>3</sup>

(1. College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Taiyuan 030031, Shanxi, China; 2. The 24th Technique Extension Station of National Research and Extension Center of Microbial Fertilizer Technology, Linfen 041000, Shanxi, China. 3. Cotton Research Institute of Shanxi Agricultural University, Yuncheng 044000, Shanxi, China)

**Abstract:** In this paper, in order to explore the effect of increasing microbial fertilizer on the planting process of long yam, the traditional old variety of long yam was used as the test material through a two years field experiment. Based on compound fertilizer, the physical and chemical properties, growth indexes, quality, yield and economic benefits of long yam soil were determined. The results showed that the T3 group treated with compound fertilizer+biological organic fertilizer+microbial agent immersion sections and two microbial agent topdressing worked better in each experimental group in 2020, protein and viscosity increased by 12.64% and 17.54% over the CK group, respectively, and polysaccharide decreased by 30.18%; the yield increased by 157.49%, and the total output value was 581 141.74 yuan per ha respectively. In 2021, we selected the T3 group with the highest economic benefit for demonstration planting of expanded area, among which the output was 20 839.95 kg per ha, the total output value was 602 774.71 yuan per ha, increased by 2.56% and 3.72% compared with group T3 in 2020. Therefore, considering the yield of long yam and farmer's net income, group T3 with additional microbial fertilizer is the best fertilization method.

**Key words:** Long yam; Microbial fertilizer; Incidence rate; Yield; Quality

薯蓣(*Dioscorea opposita*)亦称山药、长山药,系多年生缠绕藤本,地下为圆柱形肉质块茎<sup>[1-3]</sup>。其块茎是一种食品,亦作为健脾、养胃、益气的药品。长山药主产地分布在海拔150~1500 m,块茎肉质肥厚,直径2~7 cm,具有较高的营养价值和药用价值<sup>[4]</sup>。我国是山药的原产地,尤以山西平遥盛产,后

引种到河南、山东等地<sup>[5]</sup>。现如今,薯业是山西省临汾市乡宁县农业种植的重要产业,已成为当地农民增收的重要途径之一。

山药含有较丰富的蛋白质和多种氨基酸,而且必需氨基酸齐全,具有较高的营养价值。长山药多糖具有抗肿瘤、降血糖、调节免疫和抗突变等作

收稿日期:2022-03-14;修回日期:2022-07-12

基金项目:乡宁县下县村益寿长山药专业合作社项目(20200411)

作者简介:刘燕燕,女,在读硕士研究生,研究方向为微生物肥料的应用与推广。E-mail:2432854121@qq.com

并列第一作者:武才女,女,在读硕士研究生,研究方向为微生物肥料的应用与推广。E-mail:ww072198@163.com

通信作者:张杰,男,硕士生导师,研究方向为微生物肥料的应用与推广。E-mail:604072014@qq.com

用<sup>[6-8]</sup>。长山药黏度能保持血管弹性,还有润肺止咳的功能,可降低人的血糖浓度,增加血液中的白细胞而具有抗肿瘤等作用,长山药黏度越高,营养价值就越高<sup>[9]</sup>。长山药还有免疫调节、抗氧化、降血脂作用以及调节脾胃等功能。然而,长山药对土壤的要求非常严格,面临重茬率高、土壤板结、标准化低等诸多问题。因此改变常规施肥习惯,降低长山药茎基腐病的发病率,掌握乡宁长山药种植技术操作流程,依据长山药的需肥规律,在常规施肥的基础上增施微生物肥料,对长山药提质增效、保护环境及合理利用资源具有重要意义。

当前,关于不同栽培因子、不同肥料配比、煤基肥、不同滴灌施肥次数及风化煤基肥等方面对长山药产量和品质影响的研究较多<sup>[10-14]</sup>。同时,前人研究表明,增施微生物肥料可明显提高农作物的产量与品质,改善土壤环境<sup>[15-19]</sup>。但是,目前国内利用微生物肥料在玉米、水稻等<sup>[20-22]</sup>作物上的研究较多,而有关长山药在化肥基础上增施生物有机肥,生长后期冲施液体微生物菌剂的研究较少。笔者在长山药常规施肥的基础上,研究增施微生物肥料对长山药生长指标、茎基腐病发病率、产量和品质等方面

的影响,进而加以筛选、应用与推广,为山西省长山药种植科学施肥提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 地点

试验于2020年4月至2021年10月在山西省临汾市乡宁县昌宁镇下县村试验基地内进行。基地位于黄河中游,吕梁山南端,山西省西南,临汾市西部,属暖温带亚干旱气候区。海拔为385.10~1 820.50 m,相对高差1 435.40 m。全年日照时数在2400~2700 h之间,年均气温9.90℃,年均降水量570 mm,年均无霜期212 d。试验田地势平整,为砂质壤土<sup>[21]</sup>。

### 1.2 材料

1.2.1 供试品种 笔者采用传统老品种长山药,由乡宁县益寿长山药专业合作社提供。

1.2.2 供试肥料 国家微生物肥料技术研究推广中心提供生物有机肥和微生物菌剂,山西省临汾市乡宁县益寿长山药专业合作社提供尿素、过磷酸钙和硫酸钾,其中微生物菌剂含胶冻样类芽孢杆菌菌剂、解淀粉芽孢杆菌菌剂和枯草芽孢杆菌菌剂,具体指标见表1。

表1 供试肥料

肥料种类	剂型	技术指标	功能微生物	备注
尿素	颗粒	N≥46%(w,下同)		
过磷酸钙	颗粒	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ≥18%		
硫酸钾	粉末	K <sub>2</sub> O≥52%		
生物有机肥	粉末	有机质≥40%,有效活菌数(CFU)≥0.20亿·g <sup>-1</sup>	胶冻样类芽孢杆菌	底肥施用
微生物菌剂	液体	有效活菌数(CFU)≥2.00亿·mL <sup>-1</sup>	枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌、胶冻样类芽孢杆菌	枯草芽孢杆菌菌剂和解淀粉芽孢杆菌菌剂在浸泡段子时施用,并与胶冻样类芽孢杆菌菌剂用于追肥

### 1.3 设计

2020年试验采用完全随机区组设计,共设置4个施肥处理,分别是CK和T1、T2、T3,每个处理3次重复。试验总面积为400 m<sup>2</sup>,每个小区面积为20 m<sup>2</sup>。试验种植密度均为333 335株·hm<sup>-2</sup>,行距30 cm,株距10 cm。常规施肥(CK)单施复合肥,T1为复合肥+生物有机肥,T2为复合肥+生物有机肥+微生物菌剂浸泡段子,T3为复合肥+生物有机肥+微生物菌剂浸泡段子+2次微生物菌剂追肥。具体施肥量设置见表2。其他种植方式及耕种管理按照当地种植习惯进行。

### 1.4 测定项目和测定方法

1.4.1 田间测定 在长山药幼苗期,每个处理选取

植株整齐、有代表性的长山药10株,于2020年7月10日测定主蔓长、叶长、叶宽、叶面积和茎粗,3次重复。主蔓长用卷尺测量从植株基部到生长点的距离,取平均值。叶长、叶宽和茎粗用游标卡尺测定。叶长用游标卡尺测量从叶片尖到叶柄之间的长度;叶宽用游标卡尺测量叶片中间最宽的部分;茎粗用游标卡尺测量所测植株距离地面50 cm处的主茎粗度;叶面积采用数格子法进行测定,沿着叶子的形状将其画在透明的坐标纸上,然后数格子。计算格子时,叶片边缘凡超过半格的计算为1,不足半格则不计数。一般画坐标纸时,每个格子长宽各为1 cm,所以面积为1 cm<sup>2</sup>。因此,数出的格子数就是叶片的叶面积(单位为cm<sup>2</sup>)。

表2 试验分组设置

项目	时间	肥料种类	施肥量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
底肥	4月29日	生物有机肥	15 000.00
		尿素	144.00
		过磷酸钙	105.00
		硫酸钾	90.00
浸泡段子	5月6日	火山熔岩	12.50
		枯草芽孢杆菌菌剂	50.00
		解淀粉芽孢杆菌菌剂	50.00
第一次追肥	7月10日	尿素	66.00
		过磷酸钙	45.00
		硫酸钾	135.00
冲施菌剂	8月6日	枯草芽孢杆菌菌剂	50.00
		解淀粉芽孢杆菌菌剂	50.00
第二次追肥	8月26日	尿素	68.00
		过磷酸钙	46.00
		硫酸钾	139.25
冲施菌剂	9月15日	胶冻样类芽孢杆菌菌剂	100.00

各处理于2020年10月28日和2021年10月25日采集长山药成熟期块茎样品。除去块茎上的土,在各试验组中随机选取10株进行测量,3次重复,用直尺量取块茎长,用软尺绕块茎一周测得块茎周长;用精度为0.01 g的分析天平称取块茎鲜质量。在收获过程中记录长山药的穴薯数、商品薯数(除去长山药段子,余下部分即为商品薯),计算出商品薯率(商品薯质量占整个长山药质量的比率)。

**1.4.2 营养品质测定** 各处理于2020年11月13日挑选形状规整、大小均匀、无机械损伤的长山药块茎进行混合取样。每个处理称取60 g的长山药样品委托北京中科光析化工技术研究所测定蛋白质含量、多糖含量及其黏度。

**1.4.3 长山药茎基腐病发病率测定** 通过对长山药高发期植株发病情况进行调查计算,调查内容包括病害种类、调查的总株数、病株数等。每个处理选取长势均匀的3行进行调查,3次重复。发病率计算公式如下:

$$\text{发病率}/\% = \text{病株数}/\text{调查总株数} \times 100.$$

**1.4.4 土壤理化指标** 土壤样品是由试验前后采用“之”字形布点法,采集0~20 cm耕作层土样并充分混匀得到,并由乡宁县下县益寿长山药专业合作社委托北京谱尼测试集团股份有限公司测定土壤有机质含量、全氮含量、速效磷含量、速效钾含量和pH值。

**1.4.5 长山药经济效益分析** 根据长山药生产成

本及当年收购价格,计算出各试验组净利润。

**1.4.6 扩大面积示范种植** 2021年试验选择经济效益最高的T3组进行扩大面积示范种植进行验证。试验采用完全随机区组设计,设置1个试验组,记为T3,处理组设置3次重复。试验总面积为6 666.67 m<sup>2</sup>。试验种植密度均为333 335株·hm<sup>-2</sup>,行距30 cm,株距10 cm。底肥(2021年4月25日):10 000.00 kg生物有机肥+1429.00 kg尿素,70.00 kg过磷酸钙和60.00 kg硫酸钾;浸泡段子(2021年5月5日):取8.50 kg火山熔岩、33.50 kg枯草芽孢杆菌菌剂和33.50 kg解淀粉芽孢杆菌菌剂加水混合,搅拌均匀,放入长山药段子,浸泡10 min后捞出;第1次追肥(2021年7月4日):44.00 kg尿素,30.00 kg过磷酸钙含量和33.50 kg硫酸钾含量;冲施菌剂(2021年8月10日):冲施33.50 kg枯草芽孢杆菌菌剂和45.50 kg解淀粉芽孢杆菌菌剂;第2次追肥(2021年8月25日):45.50 kg尿素,31.00 kg过磷酸钙和92.80 kg硫酸钾;冲施菌剂(2021年9月13日):冲施66.67 kg胶冻样类芽孢杆菌菌剂。其他种植方式及耕种管理按照当地种植习惯。试验完成后测定长山药产量及产量因子,方法同2020年。

**1.4.7 试验数据分析与处理** 试验所获取的数据通过Microsoft Excel 2020和IBM SPSS statistics 25进行数据分析与处理。Excel用于研究数据的最大值、最小值、平均值;IBM SPSS statistics 25软件用于统计分析,利用单因素方差分析进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 增施微生物肥料对土壤理化指标的影响

由表3可知,施入微生物肥料后,试验前后土壤理化性质发生了很大的变化。有机质含量中常规施肥(CK)较试验前降低,降低了2.74%,施入生物有机肥后,有机质含量中T1、T2、T3均有不同程度的提升,分别较试验前提高了9.91%、18.84%和18.87%;试验后的耕地土壤表层全氮含量较试验前明显提升,其中以T3处理含量最高,较试验前提高了39.71%;试验后速效磷常规施肥(CK)与T1、T2、T3均有不同程度的提升,分别提高了5.85%、10.00%、26.42%和30.26%,试验后T2与CK之间具有较小的显著性差异,T3与CK之间具有较大的显著性差异;试验后速效钾含量表现为T3处理含量最高,较试验前提高了15.48%;试验后的土壤pH

表3 不同处理对土壤理化指标的影响

处理	试验前					试验后				
	w(有机质)/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(全氮)/%	w(速效磷)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH 值	w(有机质)/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(全氮)/%	w(速效磷)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH 值
CK	5.83 c	0.49 d	12.47 b	284 b	8.53 bc	5.67 d	0.65 c	13.20 c	311.20 d	8.16 c
T1	5.75 d	0.52 c	13.10 a	288 a	8.56 b	6.32 c	0.69 c	14.41 a	319.20 c	8.26 a
T2	7.43 b	0.59 b	10.60 c	285 b	8.52 c	8.83 b	0.79 b	13.40 b	320.60 b	8.23 b
T3	10.60 a	0.68 a	8.46 d	281 c	8.62 a	12.60 a	0.95 a	11.02 d	324.50 a	8.18 c

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

值表现为各处理较试验前略有降低,分别较试验前降低了 4.34%、3.50%、3.40%和 5.10%,且增施微生物肥料各处理之间差异显著。综上所述,使用微生物肥料可以有效促进土壤有机质、全氮、速效钾和速效磷等含量的积累,从而达到提高土壤肥力的效果。

### 2.2 增施微生物肥料对长山药生长指标的影响

由表 4 可以看出,在复合肥的基础上增施微生物肥料,各生长指标明显增长。试验中主蔓长 T2、T3 与 CK 间具有显著差异,其中 T3 主蔓长最长,较 CK 提高了 13.41%;叶长中 CK 与 T1、T2、T3 差异不显著,其中 T3 叶长最长,较 CK 增长了 2.90%;叶宽中 T2、T3 与 CK 具有显著差异,T1、T2、T3 均有不同程度的增长,分别较 CK 增加了 5.48%、10.81%和 16.15%;叶面积中 T3 与 CK 具有显著差异,达到最高(55.33 cm<sup>2</sup>);茎粗各处理均高于 CK,其中 T3 达到最高,较 CK 增长了 18.49%,且具有显著差异。结果表明,增施微生物肥料可改善长山药的根际、叶面营养,促进长山药的生长发育。

表4 增施微生物肥料对长山药生长指标的影响

处理	主蔓长/cm	叶长/cm	叶宽/cm	叶面积/cm <sup>2</sup>	茎粗/cm
CK	230.56 c	8.27 a	7.12 c	45.32 c	2.65 b
T1	231.33 c	8.33 a	7.51 c	46.96 ab	2.78 ab
T2	246.74 b	8.43 a	7.89 b	48.54 ab	2.89 ab
T3	261.48 a	8.51 a	8.27 a	55.33 a	3.14 a

### 2.3 增施微生物肥料对长山药茎基腐病的影响

由表 5 可以看出,在施用复合肥的基础上增施微生物肥料之后,各处理发病率均显著降低,分别较 CK 降低了 7.35%、10.17%和 3.03%。其中 T2 防治效果最好,发病率为 7.59%,与 CK 间具有显著差异,较 T1、T3 分别显著降低了 2.82%、7.13%。由此

表5 增施微生物肥料对长山药茎基腐病的影响

处理	发病株数	穴薯株数	发病率/%
CK	38 b	214 c	17.76 a
T1	38 b	365 b	10.41 c
T2	28 b	369 b	7.59 d
T3	73 a	496 a	14.72 b

说明,增施微生物肥料可增强长山药的抗病能力、降低发病率。

### 2.4 增施微生物肥料对长山药品质指标的影响

由表 6 可知,增施微生物肥各处理长山药蛋白质含量随着微生物肥料的增加而增加,且与 CK 之间具有显著差异,均高于 CK,较 CK 分别提高了 3.45%、8.05%和 12.64%;多糖含量 CK 达到最高,较 T3 增加了 43.23%,二者具有显著性差异;长山药黏度也有不同程度的提升,T3 最高,相比 CK 增加了 17.54%,二者差异显著。由此可见,增施微生物肥料对长山药生长中蛋白质含量和黏度有促进作用,从而提高了其品质。

表6 增施微生物肥料对长山药品质指标的影响

处理	w(蛋白质)/%	w(多糖)/%	黏度/(dPa·s)
CK	1.74 d	20.84 a	93.12 d
T1	1.80 c	18.17 b	99.12 c
T2	1.88 b	16.12 c	102.23 b
T3	1.96 a	14.55 d	109.45 a

### 2.5 增施微生物肥料对长山药产量与产量因子的影响

由表 7 可以看出,与 CK 相比较,T1、T2、T3 产量更佳,其中 T3 达到最高(20 319.64 kg·hm<sup>-2</sup>)。块茎外观均为黄褐色,外皮粗糙。试验中块茎长度 T1、T2、T3 均高于 CK,其中 T3 长度最长,较 CK 增加了 2.86%,但差异不显著;T1、T2、T3 块茎周长与 CK 差异不显著,其中 T3 较 CK 增加了 3.44%;T1、T2、T3 商品薯率与 CK 差异显著,其中 T3 最高(71.50%)。产量随着微生物肥料的施加呈增长趋势,T3 较 CK 提高了 157.49%,二者差异显著。结

表7 增施微生物肥料对长山药产量与产量因子的影响

处理	块茎外观	块茎长度/ cm	块茎周 长/cm	商品薯 率/%	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
CK	黄褐色,粗糙	48.24 a	7.56 a	65.31 d	7 891.36 d
T1	黄褐色,粗糙	48.50 a	7.65 a	66.34 c	17 553.54 c
T2	黄褐色,粗糙	48.93 a	7.73 a	68.79 b	19 152.89 b
T3	黄褐色,粗糙	49.62 a	7.82 a	71.50 a	20 319.64 a

果表明,长山药的产量因子数值均有所提高,增施微生物肥料可显著提高长山药的产量。

### 2.6 增施微生物肥料对长山药经济效益的影响

由表 8 可知,总产值最高的为 T3, 1 hm<sup>2</sup> 为 581 141.74 元,除去生产成本等,相较于 CK,净利润最大的为 T3, 1 hm<sup>2</sup> 为 560 067.84 元,较 CK 增加了 184.18%,差异显著。增施生物有机肥+微生物菌剂浸泡长山药段子+2 次微生物菌剂追肥(T3)比 CK

表 8 增施微生物肥料对长山药经济效益的影响

处理	总产值/(元·hm <sup>2</sup> )	生产成本/(元·hm <sup>2</sup> )	净利润/(元·hm <sup>2</sup> )
CK	206 153.89 d	9 073.90 d	197 079.99 d
T1	465 800.71 c	18 073.90 c	447 726.81 c
T2	527 010.84 b	20 073.90 b	506 936.94 b
T3	581 141.74 a	21 073.90 a	560 067.84 a

注:按照长山药 40 元·kg<sup>-1</sup> 的市场售卖价格,计算各处理的总产值。

表 9 最佳施肥量对长山药产量与经济效益的影响

指标	块茎长度/ cm	块茎周长/ cm	商品薯率/ %	产量/ (kg·hm <sup>2</sup> )	示范面积/ hm <sup>2</sup>	总产值/ (元·hm <sup>2</sup> )	生产成本/ (元·hm <sup>2</sup> )	净利润/ (元·hm <sup>2</sup> )
数值	50.23	7.91	72.31	20 839.95	13.33	602 774.71	21 073.90	581 700.81

## 3 讨论与结论

长山药喜暖湿环境、怕干旱、忌积水,适宜种植在排水良好、土层深厚疏松的土壤中<sup>[13]</sup>。在笔者的试验中,相比于 CK, T1、T2、T3 处理均施加了微生物肥料,增加了土壤的有机质含量,降低了土壤的酸碱度,契合了长山药生长特性。笔者的研究表明,在施入微生物肥料之后,由于长山药的吸收利用,CK 的有机质含量较试验前降低了 2.74%,而 T1、T2、T3 处理有机质含量分别较试验前提高了 9.91%、18.84%和 18.87%。施加微生物肥料之后,各处理土壤中各营养物质含量明显增加。同时,各处理的土壤 pH 值较试验前均有所下降,这与王文庆等<sup>[23]</sup>的观点一致。笔者的试验中液体微生物菌剂中添加的有效微生物枯草芽孢杆菌和解淀粉芽孢杆菌均可以起到抑制长山药茎基腐病的作用,在移栽环节、追肥等多个关键环节使用,更易在土壤中形成优势种群,有效抑制病原菌的侵染。通过微生物菌剂浸泡段子, T2 发病率较 CK 降低了 10.17%,与马田田<sup>[25]</sup>的结果一致。

在笔者的试验中,施入微生物肥料之后, T3 长山药蛋白质含量增加,与吕薇<sup>[26]</sup>的结果一致。同时,长山药黏度也有不同程度的提升, T3 较 CK 增加了 17.54%。而长山药多糖含量随着微生物肥料的施

1 hm<sup>2</sup> 可多获得净利润 362 987.85 元。

### 2.7 扩大示范面积的长山药产量及经济效益分析

在 2020 年试验的基础上, 2021 年选择净利润最高的最适处理 T3 进行大面积示范种植,并对其产量、产量因子及经济效益进行分析。由表 9 可以看出,各项产量指标和经济效益明显高于 2020 年各处理。其中,试验中块茎长达到 50.23 cm,较 2020 年 T3 增加了 1.23%;试验中块茎周长较 2020 年 T3 增加了 1.15%;商品薯率 72.31%,与 2020 年 T3 相比增加了 0.81%; T3 产量 20 839.95 kg·hm<sup>2</sup>,总产值 602 774.71 元·hm<sup>2</sup>,净利润 581 700.81 元·hm<sup>2</sup>,分别较 2020 年的 T3 增加了 2.56%、3.72%和 3.86%。结果表明,在常规施肥的基础上增施生物有机肥+微生物菌剂浸泡长山药段子+2 次微生物菌剂追肥的施肥方案适宜大面积推广种植。

加而呈现下降的趋势,可能是因为蛋白质含量与多糖含量呈显著负相关<sup>[27]</sup>。笔者的结果表明,增施微生物肥料可提高长山药的品质。笔者的试验中增施的胶冻样类芽孢杆菌菌剂可能起到解磷解钾的作用, T3 长山药的产量较 CK 有明显提高,同时, T3 的商品薯率达到最高,为 71.50%,这与孙亚玲等<sup>[28]</sup>的结果相近。 T3 总产值达到 581 141.74 元·hm<sup>2</sup>,品质较高。另外,在 2021 年按照 T3 的施肥量进行大面积推广,验证了其对长山药的产量及经济效益均有促进作用,对当地的长山药种植具有较强的生产实践意义。

综上所述,复合肥+生物有机肥+微生物菌剂浸泡段子+追肥 2 次微生物菌剂是最佳施肥方式。

### 参考文献

- [1] 史新敏,周志林,唐忠厚,等.江苏省不同类型淮山药种植生产成本和经济效益分析[J].江苏农业科学,2011,39(3):606-608.
- [2] 朱海旺,王淑英,霍秀文,等.长山药块茎产量与构成因素的相关性研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版)2011,32(2):134-137.
- [3] 安永帅.平遥长山药无公害高产栽培技术[J].中国果菜,2012,32(11):7-8.
- [4] 刘丽杰,王璐瑶,孙玉婷,等.东北不同地区细毛长山药品质分析及药理活性成分比较[J].云南农业大学学报(自然科学),2021,36(2):308-313.
- [5] 刘帅,杨小兰,张晓云.长山药粗多糖对果蝇抗衰老作用的研究[J].食品工业科技,2013,34(14):339-341.

- [6] 王阳. 山药块茎多糖和黏液质多糖生理功能的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [7] 王阳, 霍秀文, 周翼虎, 等. 不同品种山药块茎多糖和黏液质多糖对自由基清除能力的研究[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 2012, 39(4): 354-360.
- [8] 王晓平, 刘道峰, 张兆斌. 不同栽培因子对嘉祥细毛长山药产量的影响[J]. 山东农业科学, 2011, 43(10): 40-42.
- [9] 王常青, 段光明, 穆箭兵. 长山药粘液质的粘度与热稳定性的研究[J]. 食品科学, 1995(8): 7-11.
- [10] 贾存立, 申慕真, 姚景勇, 等. 嘉祥细毛长山药高产栽培技术初探[J]. 中国蔬菜, 2002(5): 34-35.
- [11] 王学府, 靳宁, 刘霞, 等. 煤基肥对平遥岳壁山药产量和品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(9): 1732-1735.
- [12] 宋计平, 宋中喜, 许念芳, 等. 不同滴灌施肥次数对山药块茎形态及产量的影响[J]. 中国果菜, 2020, 40(5): 93-97.
- [13] 武俊俊, 刘霞, 马彩莲, 等. 风化煤基肥对改良土壤及长山药产量和质量的影响[J]. 山西农业科学, 2018, 46(6): 938-941.
- [14] EMMANUEL I, MOYIN-JESU E I, FRANCIS A. Use of long yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*) as soil amendment for the growth, leaf chemical composition and yield of white yam (*Dioscorea rotundata* L.) [J]. The Journal of American Science, 2010, 6(11): 10-17.
- [15] 陈雪梅, 王冀川, 石元强, 等. 生物有机肥在作物上应用的研究进展[J]. 农业与技术, 2020, 41(17): 11-16.
- [16] 苏煜, 黄劲理. 增施生物有机肥对烤烟光合特性及根际土壤微生物的影响[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(1): 164-171.
- [17] 张杰, 陈鑫, 高芳芳, 等. 增施生物有机肥对红芸豆产量和品质的影响[J]. 作物杂志, 2021(3): 161-166.
- [18] 张杰, 马亚君, 贺志斌, 等. 微生物肥料替代化肥在苹果种植中的应用效果研究[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(7): 128-135.
- [19] 杨永青, 高芳芳, 马亚君, 等. 胶冻样类芽孢杆菌对不同施肥处理的马铃薯产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(5): 32-38.
- [20] 隽英华, 汪仁, 韩晓日, 等. 春玉米产量、氮肥效率及土壤矿质氮对施氮的响应[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(2): 132-139.
- [21] 陈鑫, 张杰, 刘燕燕, 等. 氮磷钾配施生物有机肥对旱作农业区玉米产量和品质的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2021, 52(6): 903-910.
- [22] 孟琳, 张小莉, 蒋小芳, 等. 有机肥料氮替代部分无机氮对水稻产量的影响及替代率研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 290-296.
- [23] 王文庆, 史清亮, 白建军, 等. 微生物肥料对山药土壤生态特征及病情指数的影响[J]. 山西农业科学, 2010, 38(12): 37-39.
- [24] 张鑫, 杨雅蛟, 孔维军, 等. 不同叶面肥对小白嘴山药产量和质量的影响研究[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(8): 1984-1988.
- [25] 马田田. 防控土传山药根茎腐病微生物有机肥的研制与生物效应研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [26] 吕薇. 长山药生物配方肥的应用研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2013.
- [27] 文国宏, 李高峰, 李建武, 等. 陇薯系列马铃薯品种营养品质评价及相关性分析[J]. 核农学报, 2018, 32(11): 2162-2169.
- [28] 孙亚玲, 刘少军, 王国义, 等. 不同氮肥用量对山药生长的影响[J]. 中国果菜, 2020, 41(8): 57-60.