



林佳丽,孙静宇,汪生林,等.不同质量等级零余子作种对南城淮山产量和品质的影响[J].江西农业大学学报,2024,46(4):894-901.

LIN J L,SUN J Y,WANG S L,et al.Effects of different mass bulbils on yield and quality of Nancheng Huaishan[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2024,46(4):894-901.

不同质量等级零余子作种对南城淮山产量和品质的影响

林佳丽,孙静宇,汪生林,方宇帆,陈欣,周庆红,黄英金,单楠*

(江西农业大学 蔬菜高质高效栽培及利用江西省重点实验室,江西 南昌 330045)

摘要:【目的】研究不同质量等级零余子作种对江西省地方名优山药品种南城淮山块茎产量和品质的影响,为南城淮山提纯复壮和高质高效栽培提供理论参考依据。【方法】以南城淮山段子(CK)及不同质量等级(≤ 2 g、2~4 g、4~6 g、 ≥ 6 g)的零余子作种,考察南城淮山块茎单株块茎重、块茎长度和产量,测定分析块茎可溶性蛋白、还原糖、纤维素、可溶性糖和淀粉等营养成分,以及钠、镁、钾、钙、铁、锰、锌、铜、硼等矿物质元素含量。【结果】随零余子质量增加,其单株块茎重、块茎长度及产量显著增加,且显著高于对照,6 g及6 g以上零余子作种的块茎商品薯率为90.00%,单位面积(667 m²)平均产量较对照增产48.72%;块茎可溶性蛋白、还原糖、纤维素、可溶性糖和淀粉等营养成分的含量随零余子质量的增加而升高,不同矿物质元素含量随着零余子质量等级增大而增加,6 g及6 g以上零余子生产的块茎中矿物质含量最高。【结论】与传统块茎留种相比,零余子作种可以改善南城淮山的产量和品质,具有显著的提纯复壮作用,6 g及6 g以上零余子可直接作为生产用种,对南城淮山种源选择和标准化生产提供了一定的理论依据。

关键词:南城淮山;零余子;产量;品质

中图分类号:S632.1 文献标志码:A

文章编号:1000-2286(2024)04-0894-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of different mass bulbils on yield and quality of Nancheng Huaishan

LIN Jiali, SUN Jingyu, WANG Shenglin, FANG Yufan, CHEN Xin, ZHOU Qinghong, HUANG Yingjin, SHAN Nan*

(Jiangxi Province Key Laboratory of Vegetable Cultivation and Utilization, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: [Objective] The research aims to study the effects of bulbils with different quality grade as seed tuber on the yield and quality of local yam variety Nancheng Huaishan in Jiangxi Province, thus providing

收稿日期:2024-01-05 修回日期:2024-02-13

基金项目:江西省重点研发计划重点项目(20201BBF61002、20232BBF60007)和江西省自然科学基金面上项目(20224BAB205024)

Project supported by Jiangxi Provincial Key Research and Development Project(20201BBF61002, 20232BBF60007) and Natural Science Foundation of Jiangxi province(20224BAB205024)

作者简介:林佳丽,硕士生,orcid.org/0009-0004-0063-8271,2358743016@qq.com;*通信作者:单楠,副教授,博士,主要从事蔬菜遗传育种与生物技术研究,orcid.org/0000-0002-6474-264X,shanjxau@163.com.

©《江西农业大学学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND协议

theoretical basis for purification and efficient cultivation. [Method] The tuber weight, tuber length, and yield per plant of Nancheng Huaishan tuber (CK) were investigated with bulbil of different quality grades (≤ 2 g, 2–4 g, 4–6 g, ≥ 6 g). The contents of nutrients such as soluble protein, reducing sugar, cellulose, soluble sugar, and starch were determined and analyzed. Furthermore, the content of sodium, magnesium, potassium, calcium, iron, manganese, zinc, copper, boron, and other mineral elements was also investigated. [Result] The weight and length of tubers, as well as the yield per plant, were significantly increased as the seed mass increased. The rate of commercial tuber was the highest, reaching 90.00%, and the yield per unit area increasing by 48.72% when the bulbil weight was above 6 g. Meanwhile, the content of soluble protein, reducing sugar, cellulose, soluble sugar, starch, and other nutrients were accumulated in bulbils with different quality grades, as did the content of various mineral elements, and the highest mineral content was observed in the bulbil above 6 g. [Conclusion] The bulbils of Nancheng Huaishan as seed tuber, especially the bulbil above 6 g, could significantly improve the yield and quality compared with the traditional tuber retention, which had important roles in the purification and rejuvenation of yam. This study could provide a theoretical basis for provenance selection and standardized production of Nancheng Huaishan.

Keywords: Nancheng Huaishan; bulbil; yield; quality

【研究意义】南城淮山(*Dioscorea opposita*),江西省名优地方山药品种,唐代开始栽培,已有1300多年种植历史^[1-2],2011年获国家地理标志^[2]。南城淮山含有丰富的碳水化合物、可溶性蛋白、维生素、多糖等营养和功效成分。中医研究认为,淮山具有独特的药用价值,对消化系统疾病及糖尿病有较高的治疗功效^[3]。南城淮山生产上通常用茎段进行繁殖,繁殖系数低,发芽率低,出苗不整齐,生产成本高,且长期无性繁殖导致植物病毒积累,种性退化、品质下降^[4],严重影响了南城淮山产业的发展。零余子,又称珠芽、山药豆、山药蛋,是山药地上茎部叶腋间着生的气生变态茎,具有作为繁殖种子的潜力^[5-6]。相比于山药段子、山药栽子作种栽种,零余子数量多,零余子作种栽种可以解决种性退化、提高产量、减少病虫害、降低生产成本等问题^[7],以达到提高南城淮山产量、品质的目的。【前人研究进展】已有研究^[8]表明,零余子内含有丰富的糖类、淀粉等营养物质,作种的零余子质量不同,对山药块茎产量和品质也有差异。零余子发芽受内源激素调控,生长素和脱落酸等协调促进发芽^[9]。许念芳等^[10]研究发现,零余子较大的山药出苗率高,植株生长旺盛,产量显著增加。周锁奎^[11]研究表明,山药种薯产量与零余子质量呈正相关。王欣珍等^[12]将零余子按鲜重分为6个等级,对根茎生物量和成分含量进行分析测定,结果表明零余子鲜重越高,其培养的山药单株叶面积越大,山药根茎鲜重、干重、薯蕈皂苷和尿囊素含量越高。饶贵珍等^[13]研究发现,零余子的大小不同,对其种薯产量有显著性影响,大零余子比小零余子增产50%以上。龙雯虹等^[14]研究表明,山药零余子生长发育过程中可溶性糖、淀粉、干物质含量在成熟期达到最高且含有较高的赤霉素,赤霉素可以打破休眠,促进细胞伸长和发芽。

【本研究切入点】目前南城淮山主要采用山药段子、山药栽子栽培,零余子作种对南城淮山产量和品质的影响研究还鲜见报道。【拟解决的关键问题】试验将不同质量等级的零余子作为种薯种植,研究其对南城淮山块茎农艺性状及成分含量的影响,旨在筛选出适合作种的零余子,为南城淮山的高产高效优质栽培提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

挑选籽粒饱满、新鲜、有光泽、健康无病斑的圆型或椭圆型南城淮山零余子作种,将零余子按不同质量分为4个等级,分别为T1(≤ 2 g)、T2(2~4 g)、T3(4~6 g)、T4(≥ 6 g)。挑选块茎芽眼饱满,无病虫害无伤疤无腐烂,茎粗2 cm以上的山药段子为对照(CK)。

试验地点为江西省抚州市南城县城南淮山试验基地,27°18'~27°47'N,116°24'~116°57'E,属于亚热带季风性湿润气候,年平均气温17.8℃,年降水量约1642 mm,无霜期约277 d。土壤条件为沙壤土,肥力中等,灌溉管理方便。

1.2 试验设计

采用随机区组设计,设5个处理,3次重复,共15个小区,每个小区面积5 m²,播种深度为10 cm,株距为0.25 m,行距为1.6 m,每行播种9个零余子。将挑选的零余子按质量分类,每2 g为1个梯度,分为4个等级,以一般种植户选择的山药段子作为对照(CK)。试验播种前,将零余子和山药段子放在湿润基质中催芽15 d,基质温度保持在20 ℃左右^[15]。于2022年4月20日将不同质量等级的零余子和山药段子播种于试验基地中。浇水除草、防治病虫害等田间管理工作按常规操作^[16-18]。待11月南城淮山全部收获后测量小区产量,折合每667 m²计算每种处理南城淮山的总产量,测产参照黄文华^[19]的方法。收获时南城淮山商品薯标准:块茎呈圆棍形;外观新鲜;粗细均匀;允许有少量机械伤、疤痕。根据薯块质量、长度、直径划分3个规格:150 g以下,薯块直径小于4.5 cm,视为小薯;150~450 g,薯块直径4.5~5.5 cm,视为中薯;450 g以上,薯块直径大于5.5 cm,视为大薯;各规格薯块长度均在30 cm以上。150~450 g,薯块直径4.5~5.5 cm的中薯视为商品薯^[20]。

$$\text{商品薯率} = \text{商品薯产量} / \text{鲜薯总产量} \times 100\% \quad (1)$$

1.3 测定指标与方法

1.3.1 南城淮山块茎农艺性状相关指标测定

收获期每个小区随机选取20根完整无病斑的南城淮山块茎测量其长度、单株块茎重和干率。块茎上、中、下部各切取一块山药薄片,称量,于烘箱中40 ℃烘干至质量恒定,测定干重,计算干率。

$$\text{干率} = \text{干重} / \text{鲜重} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.2 可溶性蛋白、还原糖、可溶性糖、淀粉、纤维素含量测定

可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝G250法^[21],淀粉、纤维素与糖含量测定参照前人描述的方法^[22]稍作改进,采用80%乙醇提取还原糖和可溶性糖,提取后沉淀用9.2 mol/L和4.6 mol/L HClO₄提取淀粉,提取后依次用0.1 mol/L NaOH溶液、热蒸馏水(80 ℃)和丙酮洗沉淀3次,以去除可溶性蛋白、果胶和脂质,残留沉淀加入60%的H₂SO₄溶液搅拌均匀后置于4 ℃冰箱中水解12 h,离心后用60%的H₂SO₄提取2次,上清液用于纤维素含量测定。通过3,5-二硝基水杨酸比色法在540 nm波长测定提取液中还原糖含量^[23],蒽酮-硫酸比色法在620 nm波长测定提取液中可溶性糖、淀粉、纤维素含量。

1.3.3 矿物质元素含量测定

矿物质元素测定参照丁音琴^[24]报道的方法,并进行了修改。称取山药块茎粉末0.200 0 g于50 mL溶解罐内,加入8 mL HNO₃和2 mL H₂O₂,按照罐体摆放图放入仪器,利用微波消解系统(MASTER-40, Payne Corporation of America)150 ℃消解10 min,180 ℃消解20 min,取出冷却至室温。将消解液倒入25 mL容量瓶中,超纯水定容。吸取6~7 mL待测液于10 mL离心管中上机测定。按照标准溶液系列质量浓度准确吸取各元素储备液加10 mL HNO₃配制成1 L的多元素混合液,超纯水定容后稀释为一系列标准浓度,构建标准曲线。利用电感耦合等离子体质谱仪(7900ICP-MS,安捷伦科技有限公司)测定各矿物质元素含量。

1.4 数据分析

采用Excel 2019对南城淮山块茎的各项指标试验数据进行统计分析。用SPSS 25.0进行数据的统计检验(one-way ANOVA单因素方差分析、独立样本t检验)和Origin 2022进行作图分析。

2 结果与分析

2.1 不同质量等级零余子作种对南城淮山块茎产量的影响

不同质量等级零余子所产南城淮山块茎如图1所示,T₃(4~6 g)和T₄(≥6 g)块茎长度、薯形与CK和T₁(≤2 g)相比差异较大。由表1可知,与CK相比,T₁(≤2 g)单株块茎重和长度无显著性差异,2 g以上零余子作种(T₂、T₃、T₄)的单株块茎重和长度均显著升高。随着零余子质量等级的升高,单株块茎重、长度均逐渐升高,T₄(≥6 g)单株块茎重显著高于其他处理和对照。各处理间干率无显著性差异。

由表2可知,T₁(≤2 g)小区单位面积(667 m²)产量和商品薯率最低,T₄(≥6 g)小区单位面积产量和商品薯率最高,显著大于CK,较CK显著增产48.7%;且CK与其他处理间无显著性差异。随着零余子质量等级的升高,商品薯率和单位面积产量均逐渐升高,其中T₄(≥6g)与其他处理间存在显著性差异,且较T₁(≤2 g)显著增产129.4%。综合而言,作种的零余子质量越大,南城淮山商品薯率和单位面积产量越高。

表 1 不同质量等级零余子作种的南城淮山块茎指标

Tab.1 Index of tuber of Nancheng Huaishan with bulbil seed in different quality grades

处理 Treatment	单株块茎重/kg Single weigh	长度/cm Length	干率/% Dry matter
CK	0.15±0.03 ^a	51.73±5.61 ^{bc}	22.00±1.20 ^a
T ₁ (≤2 g)	0.15±0.01 ^a	50.87±2.05 ^a	22.30±1.00 ^a
T ₂ (2~4 g)	0.25±0.02 ^b	61.76±4.64 ^{ab}	23.10±0.50 ^a
T ₃ (4~6 g)	0.26±0.03 ^b	69.83±2.16 ^a	21.60±1.20 ^a
T ₄ (≥6 g)	0.33±0.02 ^a	70.57±2.31 ^a	21.40±1.30 ^a

表中数据为平均值±标准误,不同小写字母表示块茎指标在 P<0.05 水平差异显著。

The data in the table are mean±SE, different lowercase letters indicated significant difference in tuber indexes at P<0.05 level.



图 1 不同质量等级零余子作种的南城淮山块茎

Fig.1 Tuber of Huaishan Nancheng with different quality grade bulbil seed

表 2 不同质量等级零余子作种的南城淮山产量

Tab.2 Yield of different quality grades of bulbil seed cropping in Nancheng Huaishan

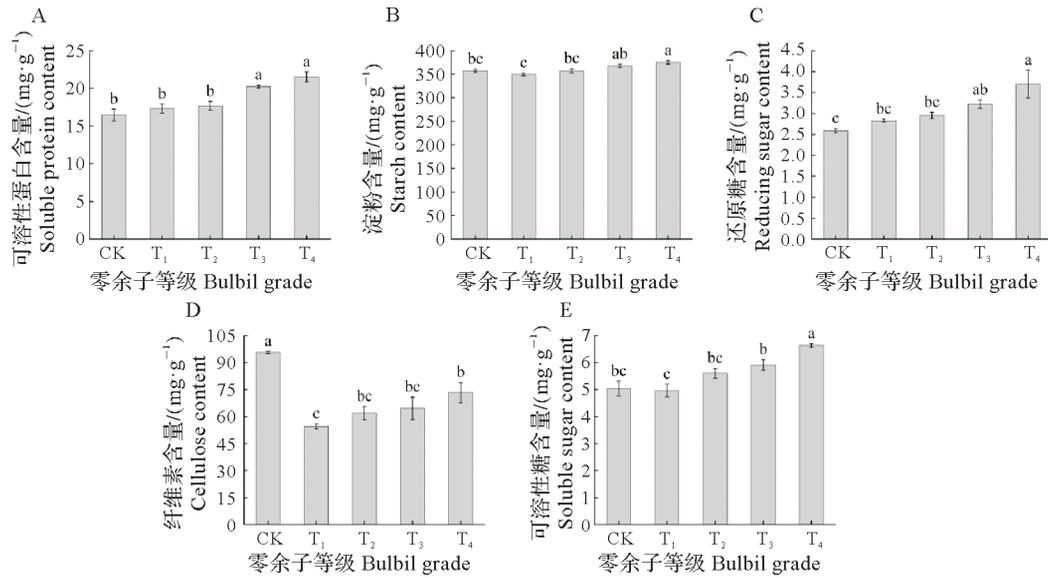
处理 Treatment	小区面积/m ² Area	小区产量/kg Yield of tuber	667 m ² 产量/kg Yield per mu	商品薯率/% Commercial potato yield
CK	3.67±0.30	7.32±0.47 ^a	1 132.28±18.64 ^b	85
T ₁ (≤2 g)	4.54±0.14	10.02±1.07 ^{ab}	734.11±67.78 ^c	50
T ₂ (2~4 g)	3.78±0.67	8.04±1.67 ^a	1 063.24±83.87 ^b	75
T ₃ (4~6 g)	4.64±0.14	9.90±0.71 ^{ab}	1 217.05±125.63 ^b	85
T ₄ (≥6 g)	4.60±0.05	12.90±0.71 ^a	1 683.94±73.12 ^a	90

表中数据为平均值±标准误,不同小写字母表示块茎指标在 P<0.05 水平差异显著。

The data in the table are mean±SE, different lowercase letters indicated significant difference in tuber indexes at P<0.05 level.

2.2 不同质量等级零余子作种对南城淮山块茎品质的影响

如图 2 所示,4 个质量梯度的零余子所产的李城淮山块茎中的可溶性蛋白、淀粉、可溶性糖、还原糖、纤维素含量均随作种的零余子质量等级增大而逐渐增加。T₃(4~6 g)和 T₄(≥6 g)块茎的可溶性蛋白含量显著高于 CK、T₁(≤2 g)、T₂(2~4 g),CK 可溶性蛋白含量最低,为 16.35 mg/g,T₃(4~6 g)和 T₄(≥6 g)可溶性蛋白含量最高,分别为 20.18 mg/g、21.75 mg/g(图 2A)。T₄(≥6 g)淀粉含量最高,为 370.83 mg/g,显著高于 CK、T₁(≤2 g)、T₂(2~4 g),各处理组淀粉含量从低到高依次为 T₁(≤2 g)、CK、T₂(2~4 g)、T₃(4~6 g)、T₄(≥6 g)(图 2B)。随着作种零余子质量等级的增加,还原糖含量逐渐升高,T₃(4~6 g)和 T₄(≥6 g)的还原糖含量均显著高于 CK,CK 还原糖含量最低,为 2.62 mg/g,T₄还原糖含量最高,为 3.93 mg/g,显著高于其他处理组(图 2C)。零余子作种所产的李城淮山纤维素含量显著低于对照(图 2D)。T₄(≥6 g)的可溶性糖含量显著高于其他处理组;随着零余子质量等级增加,可溶性糖含量增加(图 2E)。



不同小写字母表示块茎指标在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

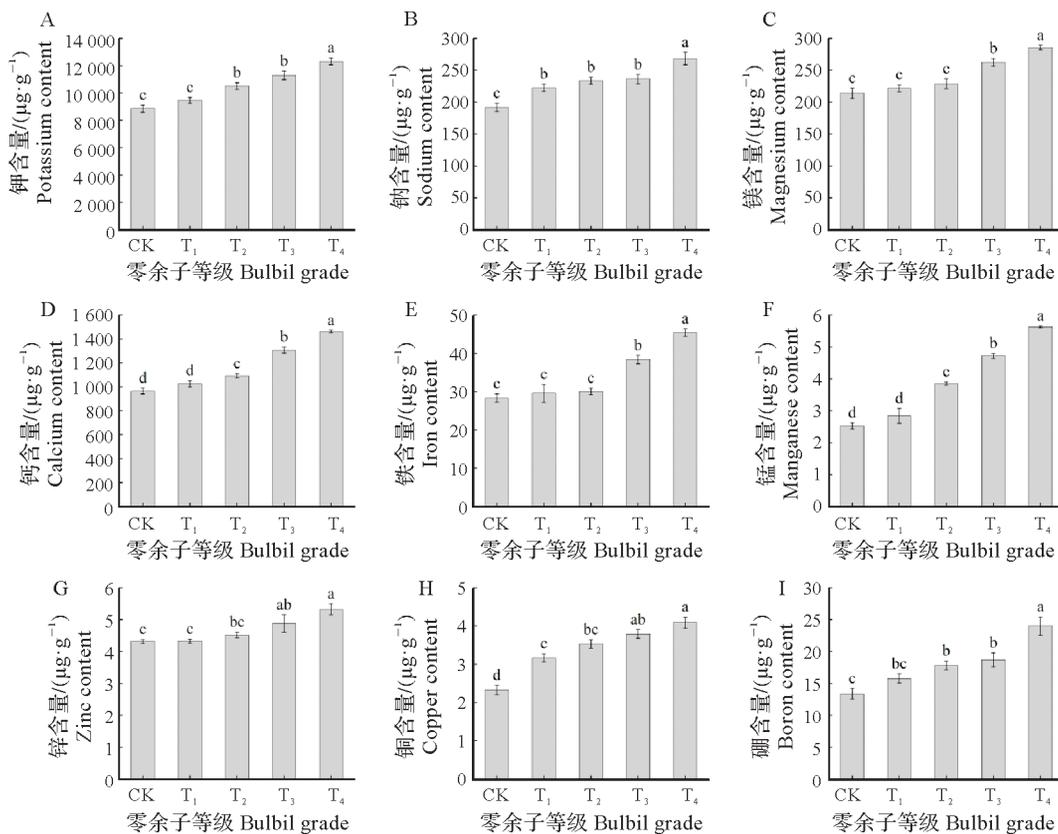
The different lowercase letters indicated significant difference in tuber indexes at $P < 0.05$ level.

图 2 不同质量等级零余子作种的南城淮山营养品质分析

Fig.2 Nutritional quality analysis of different quality grades of bulbil seed in Nancheng Huaishan

2.3 不同质量等级零余子作种对南城淮山矿物质元素的影响

由图 3 可知,不同矿物质元素含量都随着零余子质量等级增大而增加, T_4 (≥ 6 g) 中各矿物质元素含量最高,且显著高于 CK。块茎中大量元素钾元素的含量最高, T_4 (≥ 6 g) 中钾元素含量为 $12\ 139.23\ \mu\text{g/g}$, 其次是钙元素、镁元素, 钠元素含量最低; 微量元素铁元素的含量最高, 其次是硼、锌、铜、锰元素, 含量依次递减。



不同小写字母表示块茎指标在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

The different lowercase letters indicated significant difference in tuber indexes at $P < 0.05$ level.

图 3 不同质量等级零余子作种的南城淮山矿物质元素分析

Fig.3 Analysis of mineral elements from different quality grades of bulbil seed in Nancheng Huaishan

3 讨 论

江西省南城县坐落于华东中部,气候适宜,降水量丰富,拥有得天独厚的淮山生产自然条件,是全省最大的淮山生产基地,也是全国三大淮山生产基地之一^[2]。在生产上多用山药栽子、山药段子等无性繁殖材料作种栽种,但栽子和段子繁殖系数低、成本高,且长期种植会出现山药种性退化、植株病虫害加重等问题^[25]。采用零余子作种,能保持较好的种性,提高产量,可脱除土传病虫害,达到提纯复壮的目的^[12]。

南城淮山单株块茎的质量在一定程度上与作种零余子质量呈正相关。本试验研究表明,零余子质量大的南城淮山产量比零余子质量小的存在显著性差异,6 g及6 g以上零余子商品薯率为90%,单位面积(667 m²)产量较2 g及2 g以下零余子增产129.39%,较传统块茎作种增产48.72%,说明零余子质量增加可以提高南城淮山商品薯率和产量。不同质量等级的零余子对山药的单株块茎重、块茎长度有显著性影响。质量较大的零余子作种,山药表现为较大的单株块茎重,且随着零余子质量的增加,山药的单株块茎重和块茎长度均呈增长趋势,山药的产量也随之增大。饶贵珍等^[13]、刘少军等^[16]、杨建仙等^[17]研究均表明,山药茎粗、植株长势和产量均与山药种薯的鲜重呈正相关关系,零余子鲜重不同,其培养的山药产量和品质也有差异,与本试验研究结果一致。龙雯虹等^[14]研究表明,山药零余子生长的全过程中,淀粉、干物质等含量不断增加,与其他激素相比,内源赤霉素含量较高。此外,Zhang等^[7]研究发现,与块茎相比,零余子的可溶糖含量、直链淀粉含量较高。因此,鲜重较大的零余子积累的淀粉、干物质、可溶性糖等营养物质和高水平的赤霉素含量,可为其萌发及幼苗的生长提供充足的营养,从而促进了山药块茎的生长。

不同质量大小的零余子对山药的品质也有一定的影响。随着零余子质量等级增加,山药中可溶性蛋白、还原糖、可溶性糖、纤维素和淀粉的含量也增大。6 g及6 g以上零余子作种所产的山城淮山可溶性蛋白含量为21.75 mg/g,与传统块茎作种相比,可溶性蛋白含量提高33.0%;淀粉含量为370.83 mg/g,与传统块茎作种相比,淀粉含量提高3.1%;还原糖含量为3.93 mg/g,与传统块茎作种相比,还原糖含量提高50.0%;纤维素含量为74.23 mg/g,与传统块茎作种相比,纤维素含量下降22.7%;可溶性糖含量为6.59 mg/g,与传统块茎作种相比,可溶性糖含量提高36.2%。6 g及6 g以上零余子作种所产的山城淮山品质与2 g及2 g以下零余子作种所产的山城淮山相比,可溶性蛋白含量提高20.0%,淀粉含量提高7.4%,还原糖含量提高40.4%,纤维素含量提高38.4%,可溶性糖含量提高32.6%(图2)。龙雯虹等^[14]研究表明,山药零余子发育过程中,还原糖和可溶性糖的含量逐渐升高,作种后可能进一步促进了山药块茎中还原性糖和可溶性糖的积累。程云环等^[26]研究表明零余子多糖抗氧化能力由于怀山药多糖,表明零余子多糖具有较高的生物活性,具有开发利用价值。薛建平^[27]研究表明,铁棍山药零余子的总氨基酸以及必需氨基酸的含量高于地下块茎。用零余子作种后,高含量的氨基酸含量有可能促进了山药块茎中蛋白质的积累。

山药营养价值高,具有益气养阴、健脾益胃等食疗作用,含有丰富的矿物质元素^[28-29]。赵玉玲^[30]通过火焰原子吸收光谱法测定铁棍山药中富含铁、锌铜等人体必需的矿物质元素,表明铁棍山药具有较高的食用价值和保健功能。钙对人体有维持牙齿和骨骼硬度,防止骨质疏松的作用,6 g及6 g以上零余子作种所产的山城淮山钙元素含量高达1 459.44 μg/g。铁、锌、铜都是人体必需的微量元素,铁是血红蛋白的组成成分,参与血液中氧的运输和储存;锌能够参与多数球蛋白以及酶的合成,增强人体免疫系统;铜对人体造血、清除氧自由基方面有一定的作用^[31]。6 g及6 g以上零余子作种所产的山城淮山铁、锌、铜元素的含量分别为43.22, 5.39, 4.02 μg/g。本试验中传统块茎作种所产的山城淮山矿物质元素含量最低;随着零余子质量等级增加,矿物质元素含量逐渐增加,这可能与成熟的零余子内积累了较多的矿物质有关,采用零余子作种后提高了块茎矿物质元素含量,且质量越大的零余子作种效果越好。

4 结 论

本研究表明,南城淮山品质和单位面积(667 m²)产量随着作种的零余子质量增加而提高;不同质量等级的零余子所产的山城淮山品质和单位面积(667 m²)产量差异也达显著水平,质量最大的T₄(≥6 g)处理品质和单位面积(667 m²)产量和CK呈现显著性差异。与山药段子或山药栽子作种相比,选用质量大、健康饱满的零余子作种,可以达到提纯复壮、改善品质的效果。

参考文献 Reference:

- [1] 张为. 南城淮山[J]. 质量探索, 2013, 10(6): 13.
ZHANG W. Nancheng yam[J]. Quality exploration, 2013, 10(6): 13.
- [2] 洪森荣. 南城淮山脱毒苗移栽驯化期的光合生理[J]. 基因组学与应用生物学, 2017, 36(11): 4823-4828.
HONG S R. Photosynthetic physiology of virus-free plantlets of *Dioscorea opposita* Thunb. cv. Nancheng during transplanting and domestication[J]. Genomics and applied biology, 2017, 36(11): 4823-4828.
- [3] 柯维忠, 王爱斌, 徐路. 三种南城淮山组培移栽苗叶片的气孔特征研究[J]. 上饶师范学院学报, 2017, 37(6): 80-85.
KE W Z, WANG A B, XU L. Study on the stomatal characteristics of three kinds of Nancheng yam tissue culture transplanting seedling leaves[J]. Journal of Shangrao normal university, 2017, 37(6): 80-85.
- [4] 王葡萄, 孙静宇, 单楠, 等. 南城淮山脱毒苗培养及扦插繁殖研究[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(4): 832-840.
WANG P T, SUN J Y, SHAN N, et al. Study on virus-free seeding culture and cuttage propagation of tuber of Nancheng Huaishan[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2022, 44(4): 832-840.
- [5] 苗利娟, 韩锁义, 张新友, 等. 怀山药茎尖脱毒培养与茎段增殖研究[J]. 河南农业科学, 2011, 40(11): 123-125.
MIAO L J, HAN S Y, ZHANG X Y, et al. The establishment of the system for detoxified Huai yam by stem tip culture and stem cut rapid propagation[J]. Journal of Henan agricultural sciences, 2011, 40(11): 123-125.
- [6] SANADA A, CHENG C, KIKUNO H, et al. Bulbil dormancy and formation in water yam (*Dioscorea alata* L.) [J]. Tropical agriculture and development, 2018, 62(3): 109-114.
- [7] ZHANG B, GUO K, LIN L, et al. Comparison of structural and functional properties of starches from the rhizome and bulbil of Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) [J]. Molecules, 2018, 23(2): 427.
- [8] 李晓龙, 臧传江, 付在秋, 等. 零余子大小对山药生长产量的影响[J]. 种子科技, 2019, 37(16): 32-33.
LI X L, ZANG C J, FU Z Q, et al. Effect of bulbil size on growth yield of yam [J]. Seed science & technology, 2019, 37(16): 32-33.
- [9] WU Z G, JIANG W, TAO Z M, et al. Morphological and stage-specific transcriptome analyses reveal distinct regulatory programs underlying yam (*Dioscorea alata* L.) bulbil growth [J]. Journal of experimental botany, 2020, 71(6): 1899-1914.
- [10] 许念芳, 宋计平, 孙胜楠, 等. 零余子繁殖山药的高效栽培技术研究[J]. 天津农业科学, 2020, 26(9): 73-75.
XU N F, SONG J P, SUN S N, et al. Study on high efficient cultivation techniques for propagation of yam from bulbil [J]. Tianjin agricultural sciences, 2020, 26(9): 73-75.
- [11] 周锁奎. 山药“优种大株零余子”快速繁殖法研究[J]. 园艺学报, 2006(3): 533.
ZHOU S K. The fast reproduction method in the breeding aerial stems of the vigorous and healthy yam plants [J]. Acta horticulturae Sinica, 2006(3): 533.
- [12] 王欣珍, 张红瑞, 高致明, 等. 不同等级零余子对怀山药生长和品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(2): 320-323.
WANG X Z, ZHANG H R, GAO Z M, et al. Effects of different grades of bulbil on the growth and quality of *Dioscorea opposita* [J]. Journal of Zhejiang agricultural sciences, 2021, 62(2): 320-323.
- [13] 饶贵珍, 吴亚宏. 零余子的不同处理对山药出苗及种薯产量的影响[J]. 农业与技术, 2000(2): 20-22.
RAO G Z, WU Y H. Difference treatments for Chinese yam beans influence Chinese yam of germination and output of the seed yam [J]. Agriculture and technology, 2000(2): 20-22.
- [14] 龙雯虹, 郭华春, 肖关丽, 等. 山药珠芽生长过程中激素和糖类物质含量的变化[J]. 园艺学报, 2011, 38(4): 753-760.
LONG W H, GUO H C, XIAO G L, et al. Variation of endogenous hormone and carbohydrate contents in growing yam bulbils [J]. Acta horticulturae Sinica, 2011, 38(4): 753-760.
- [15] 张丽梅, 颜舜扬, 陈熹. 山药种薯切段催芽技术[J]. 中国农村小康科技, 2008(10): 35-37.
ZHANG L M, YAN S Y, CHEN X. Technology of cutting seed yams to promote germination [J]. Chinese countryside well-off technology, 2008(10): 35-37.
- [16] 刘少军, 焦健, 舒锐, 等. 山药无公害生产技术[J]. 种子科技, 2012, 30(8): 41.
LIU S J, JIAO J, SHU R, et al. Pollution-free production technology of yam [J]. Seed science, 2012, 30(8): 41.
- [17] 杨建仙, 刘晋联. 山药无公害标准化栽培技术[J]. 现代种业, 2011(4): 59-60.
YANG J X, LIU J L. Pollution free standardized cultivation technology of Chinese yam [J]. Modern seed industry, 2011(4): 59-60.

- [18] 陈伟,何启平.出口山药无公害标准化栽培技术[J].黑龙江农业科学,2008(4):108-110.
CHEN W, HE Q P. The standard cultivation technique of non-polluted yam for export[J]. Heilongjiang agricultural sciences, 2008(4): 108-110.
- [19] 黄文华.山药无公害标准化栽培[M].北京:中国农业出版社,2005:80.
HUANG W H. Chinese yam pollution-free standardized cultivation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 80.
- [20] 中华人民共和国农业部, 中国农业大学. 山药等级规格: NY/T 1065—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, China Agricultural University. Grades and specifications of yams: NY/T 1065—2006[S]. Beijing: Standard Press of China, 2006.
- [21] 罗群.考马斯亮蓝法快速测定菜籽粕中可溶性蛋白质的含量[J].成都大学学报(自然科学版),2014,33(2):125-126.
LUO Q. Rapid determination of soluble protein content in rapeseed meal by coomassie brilliant blue method[J]. Journal of Chengdu university (natural science edition), 2014, 33(2): 125-126.
- [22] 王佩芬,池源,王丽波.蒽酮-硫酸比色法测定南瓜籽多糖含量[J].食品研究与开发,2014,35(24):121-125.
WANG P F, CHI Y, WANG L B. Determination of polysaccharides in pumpkin seeds by anthrone-sulfuric acid method[J]. Food research and development, 2014, 35(24): 121-125.
- [23] 朱海霞,石瑛,张庆娜,等.3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法测定马铃薯还原糖含量的研究[J].中国马铃薯,2005(5):14-17.
ZHU H X, SHI Y, ZHANG Q N, et al. Applying 3, 5-dinitrosalicylic acid (DNS) method to analyzing the content of potato reducing sugar[J]. Chinese potato journal, 2005(5): 14-17.
- [24] 丁音琴.微波消解 ICP-OES 法测定辣木叶中的矿物质元素[J].福建农业科技,2014(10):11-14.
DING Y Q. Determination of mineral elements in *Moringaoleifera* leaves by microwave digestion and ICP-OES method[J]. Fujian agricultural science and technology, 2014(10): 11-14.
- [25] 张武君,刘保财,陈菁瑛,等.17个紫山药地方品种的品质比较与评价[J].亚热带农业研究,2021,17(4):231-237.
ZHANG W J, LIU B C, CHEN Q Y, et al. Comparison and evaluation on the quality of 17 local varieties of purple yam[J]. Subtropical agriculture research, 2021, 17(4): 231-237.
- [26] 程云环,滕井通,张爱民,等.怀山药及其零余子多糖抗氧化活性的比较研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2014,35(6):68-72.
CHENG Y H, TENG J T, ZHANG A M, et al. Comparison study on antioxidant activity of polysaccharides extracted from *Dioscorea opposita* thunb and its bulbils.[J]. Journal of Inner Mongolia agricultural university (natural science edition), 2014, 35(6): 68-72.
- [27] 薛建平,祝红蕾,尧俊英.铁棍山药及其零余子营养成分的比较研究[J].食品工业科技,2008(8):268-269.
XUE J P, ZHU H L, YAO J Y. Study on nutrient components of iron stick yam and bulbil.[J]. Science and technology of food industry, 2008(8): 268-269.
- [28] 田贤,韩宝银.山药药食保健功能及开发利用研究进展[J].中医药导报,2023,29(1):108-111.
TIAN X, HAN B Y. Research progress on health care function, development and utilization of Shanyao (*Dioscoreae rhizoma*) [J]. Guiding journal of traditional Chinese medicine and pharmacy, 2023, 29(1): 108-111.
- [29] BREDESON J V, LYONS J B, ONIYINDE I O, et al. Chromosome evolution and the genetic basis of agronomically important traits in greater yam[J]. Nature communications, 2022, 13(1): 2001.
- [30] 赵玉玲.火焰原子吸收光谱法测定怀庆府铁棍山药中矿质元素[J].河南科技,2018(13):141-142.
ZHAO Y L. Determination of mineral elements in Chinese yam with Huai Qing Fu by flame atomic absorption spectrometry [J]. Henan science and technology, 2018(13): 141-142.
- [31] 王春兰,李文最,肖明发,等.福州市售蔬菜和水果中13种矿质元素含量的测定与分析[J].广东微量元素科学,2012,19(7):40-46.
WANG C L, LI W Z, XIAO M F, et al. Determination and analysis of 13 mineral elements content of marketed fruits and vegetables in Fuzhou city[J]. Guangdong trace elements science, 2012, 19(7): 40-46.