

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.10.002

王远, 高兵倩, 王珧, 等. 5 种不同缓释肥在盆栽菜用甘薯上的应用研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(10): 11-20.

## 5 种不同缓释肥在盆栽菜用甘薯上的应用研究

王远<sup>1,2</sup>, 高兵倩<sup>2</sup>, 王珧<sup>2</sup>, 翁宗宽<sup>2</sup>,  
戴习彬<sup>2</sup>, 朱国鹏<sup>1</sup>, 曹清河<sup>2</sup>

- 海南大学 园艺学院, 海口 570228;
- 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所/中国农业科学院甘薯研究所, 江苏 徐州 221121

**摘要:** 新形势下, 阳台蔬菜越来越受城镇居民的欢迎。筛选适宜盆栽菜用甘薯生长的缓释肥, 可为盆栽菜用甘薯科学合理施肥提供技术指导。采用盆栽实验方法, 以“薯绿一号”为实验材料, 以复合肥为对照, 设置 5 种不同缓释肥处理: T1(15-10-12), T2(25-14-12), T3(15-15-15), T4(14-13-13), T5(18-9-9)。研究不同缓释肥对菜用甘薯生长发育、产量、品质及酶活性的影响。结果表明: 适宜的缓释肥可促进菜用甘薯的生长, 提高其产量及品质, 提高超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)的活性, 降低丙二醛(MAD)质量分数, 各个生理指标间的关系密切, 用叶绿素仪测定菜用甘薯的叶色值(SPAD)可以预测菜用甘薯的产量及品质。施用 T5 处理(绿盼缓释肥)的整体效果最优, 可推荐在菜用甘薯盆栽种植中广泛使用。

**关键词:** 菜用甘薯; 缓释肥; 产量; 品质

**中图分类号:** S636.9 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2023)10-0011-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Preliminary Application of 5 Different Slow-Release Fertilizers on Potted Vegetable Sweetpotato

WANG Yuan<sup>1,2</sup>, GAO Bingqian<sup>2</sup>, WANG Yao<sup>2</sup>,  
WENG Zongkuan<sup>2</sup>, DAI Xibin<sup>2</sup>, ZHU Guopeng<sup>1</sup>, CAO Qinghe<sup>2</sup>

- School of Horticulture, Hainan University, Haikou 570228, China;
- Xuzhou Institute of Agricultural Science in Jiangsu Xuhuai District/Institute of Sweetpotato Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xuzhou Jiangsu 221121, China

**Abstract:** Under the new situation, balcony vegetables are becoming more and more popular among urban

收稿日期: 2023-04-07

基金项目: 海南省重点研发计划项目(ZDYF2020226); 财政部和农业农村部 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-10-B07-2022); 江苏省种业振兴“JBGS”项目(JBGS2021010)。

作者简介: 王远, 硕士研究生, 主要从事甘薯营养生理与栽培研究。

通信作者: 曹清河, 研究员。

residents. Screening out the slow-release fertilizer suitable for the growth of potted vegetable sweetpotato can provide technical guidance for the scientific fertilization and explore the favorable methods of multiple forms of soilless cultivation. Five different slow-release fertilizer treatments were designed as following: T1 (15-10-12), T2 (25-14-12), T3 (15-15-15), T4 (14-13-13) and T5 (18-9-9) using the pot experiment method, with “ShuLv 1” as the test material and compound fertilizer as the control. The effects of different slow-release fertilizers on the growth and development, yield, quality and enzyme activity of vegetable sweetpotato were investigated. The results showed that the suitable slow-release fertilizers can promote the growth of vegetable sweetpotato, improve yield and quality, increase SOD and POD activities, and reduce MAD mass fraction, among which the overall effect of T5 treatment with “Lv Pan” slow-release fertilizer was the best, and can be recommended for use in the planting potted vegetable sweetpotato.

**Key words:** vegetable sweetpotato; slow-release fertilizer; production; quality

菜用甘薯是一种新型的营养蔬菜,可食用部分一般是茎尖 10~15 cm 的鲜嫩组织,具有良好的食疗保健作用.美国将其列为航天食品,日本称其为“长寿菜”,而中国香港地区则称其为“蔬菜皇后”<sup>[1]</sup>.菜用甘薯不仅适应性强,再生能力强,而且生长速度快,对土壤要求不高,喜欢高温和高湿,对病虫害耐受性高,易种植.随着阳台农业的发展,越来越多的城市居民喜欢在阳台上种菜,尤其是在绿叶菜短缺、叶类蔬菜生产较少的夏季,因此菜用甘薯可以作为伏夏缺菜的有益补充.如何在盆栽种植条件下减少施肥次数,做到一次性施肥即可满足菜用甘薯整个生长发育的营养需要,并且能持续提供植株养分是值得研究的课题.缓释肥料是环保型肥料,对环境影响小,肥效持久,理化性质稳定,可以满足植物在生长季节的营养需求,减少肥料的使用和施肥过程中不必要的人力、物力和财力成本<sup>[2-3]</sup>.本文从不同缓释肥入手,探讨了不同缓释肥对盆栽菜用甘薯的植物学特性、产量和品质以及对酶活性的影响,旨在筛选出适宜盆栽菜用甘薯种植的底肥,为阳台盆栽菜用甘薯一次性施肥提供技术指导,也为其他盆栽蔬菜轻量化施肥提供参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

供试菜用甘薯品种为“薯绿一号”,由徐州农业科学研究所提供.盆栽基质为草炭、珍珠岩、蛭石、椰糠,草炭购于吉林山景草炭土加工有限公司,椰糠购于上海格谷农业科技有限公司,珍珠岩、蛭石购于淘宝.普通复合肥(CK)购于中农集团控股股份有限公司,美乐棵控释肥(T1)购于施可得赛拉公司,史丹利缓释肥(T2)购于史丹利化肥股份有限公司,德沃多缓释掺混肥(T3)购于河北德沃多生物科技有限公司,奥绿缓释肥(T4)购于江苏京东海元贸易有限公司,绿盼缓释肥(T5)购于四川绿盼环保科技有限公司.

### 1.2 实验设计

盆栽实验在江苏徐淮地区徐州农业科学研究所实验楼玻璃温室进行,供试菜用甘薯于 2022 年 8 月 8 日种植,从 8 月 22 日开始第 1 次采摘测产,此后每 15 d 采摘 1 次,至 10 月 21 日采摘结束,共采摘 5 次.以大田常用普通复合肥为对照(CK),实验设 5 个不同缓释肥处理,每处理重复 3 次,随机区组排列.盆栽容器尺寸为 60 cm×24.5 cm×18.5 cm,栽培基质为草炭、珍珠岩、蛭石、椰糠的混合基质,其体积比为 1:1:1:5,选择种苗粗壮、节间较短、叶肥厚、大小均匀一致、老嫩适度和健康无病虫害的顶端苗,每盆定植 32 株,4 行,8 列,株行距为 8 cm×6 cm.栽培基质基本农化性状:容重为 0.16 g/cm<sup>3</sup>,总孔隙度为 56.57%,pH 值为 5.83,电导率为 1.25 ms/cm,碱解氮为 45.5 mg/kg,速效磷为 71.53 mg/kg,速效钾为 1 098.67 mg/kg,有机质为 45.46%,全氮为 392%.肥料均一次性基施,各处理每 667 m<sup>2</sup> 纯

氮投入量均为 10 kg, 纯磷投入量均为 6 kg, 纯钾投入量均为 7 kg, 各处理氮磷钾肥由尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含  $P_2O_5$  12%)、硫酸钾(含  $K_2O$  52%)补齐. 具体实验设计及肥料施用量见表 1. 各小区除了实验设计所规定的处理差异外, 其他管理措施均一致.

表 1 肥料施用量

处理	施用量/盆				
	肥料种类	用量/g	过磷酸钙/g	硫酸钾/g	尿素/g
CK	普通复合肥(15-15-15)	9	—	17.54	29.67
T1	美乐棵控释肥(15-10-12)	13	105.83	—	28.37
T2	史丹利缓释肥(25-14-12)	9	69.83	23.08	—
T3	德沃多缓释掺混肥(15-15-15)	9	—	17.54	29.67
T4	奥绿缓释肥(14-13-13)	10.38	—	20.63	31.78
T5	绿盼缓释肥(18-9-9)	12.5	115.63	31.38	—

### 1.3 测定项目及方法

#### 1.3.1 生长指标测定

各处理于定植后 15 d, 30 d, 45 d, 60 d, 75 d 时取样, 于每次取样时采摘茎尖并测定产量, 共采摘测产 5 次. 取样时选取整齐有代表性的植株 5 株, 调查茎粗、叶柄长、节间距、茎尖采摘数及叶色值. 茎粗用游标卡尺测量采摘的茎尖基部处的粗度; 节间距用直尺测量靠摘断茎尖节部的第 1 节间长度; 叶柄长度用直尺测量靠摘断茎尖基部第 1 片叶的叶柄长度; 茎尖采摘数是用计数法测定各处理茎尖采摘数量.

#### 1.3.2 产量和叶色值测定

每 15 d 采摘 1 次, 连续采摘测产 5 次, 各个小区以 12 cm 左右的鲜嫩茎尖为标准采摘, 计总产量; 用 SPAD-502 叶绿素仪测定叶绿素相对质量分数(SPAD).

#### 1.3.3 品质指标测定

可溶性总糖测定: 蒽酮比色法.

亚硝酸盐质量分数测定: 称取 0.05 g 组织干样加入 0.5 mL 提取液 1(硼酸钠溶液), 置沸水浴中煮 15 min, 冷却后加入 0.5 mL 提取液 2(亚铁氰化钾), 震荡摇匀, 加 0.5 mL 提取液 3(醋酸锌溶液), 最后用镊子加约 1 mg 的粉剂 4(活性炭), 静置 30 min, 25 °C, 8 500 r/min 离心 15 min, 取上清液备用, 采用苏州科铭亚硝酸盐试剂盒, 按照说明书进行测定计算.

可溶性蛋白质量分数测定: 称取 0.1 g 组织加入 1 mL 酶提取缓冲液, 10 000 r/min, 4 °C 离心 10 min, 得上清液备用, 采用酶联生物 BCA 法蛋白质量分数测定试剂盒, 按照说明书测定计算.

维生素 C(Vc)质量分数测定: 称取 0.1 g 组织加入 1 mL 乙酸提取液, 4 °C, 8 500 r/min 离心 20 min, 得上清液置于冰上待测, 采用苏州科铭 Vc 测定试剂盒, 按照说明书进行测定.

#### 1.3.4 酶活性指标测定

采用苏州科铭试剂盒测定菜用甘薯叶片丙二醛(MAD)质量分数、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性.

### 1.4 数据处理

使用 Microsoft Office Excel 2016 整理数据并作图, 使用 SPSS 23.0 软件进行分析, 采用 Duncan 新复极差法进行差异显著性检验.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同缓释肥对菜用甘薯生长指标的影响

由表 2 可知, 在不同缓释肥处理下, 菜用甘薯生长期各生长指标均于定植后趋于逐步增长状态. 菜

用甘薯生长期内茎粗平均值在 2.92~3.16 mm 之间,其中以 T5 处理的菜用甘薯茎粗在定植 30 d 时达到最大,为 3.43 mm,高于 T1, T3 处理,但差异无统计学意义;菜用甘薯生长期内节间长度均值在 2.13~2.39 cm 之间,以 T3 处理达到最大, T5 处理最小;在菜用甘薯生长期内叶柄长度以 T5 处理最大,为 4.16 cm,在 30d 时显著高于 CK, T1, T2, T3 处理,高于 T4 处理但差异无统计学意义;茎尖数于定植后呈稳步增长状态,以 T5 处理下均值达到最多, T1 处理次之,分别为 56.13 个, 51.00 个. CK, T2 处理茎尖数较少,为 31.07 个, 41.87 个.

表 2 不同缓释肥对菜用甘薯生长指标的影响

处理	定植时间/d					平均值	
	15	30	45	60	75		
茎粗/mm	CK	2.83±0.18a	2.74±0.16c	2.98±0.16a	3.04±0.13a	3.04±0.11ab	2.92
	T1	2.83±0.07a	3.28±0.08ab	3.06±0.24a	2.68±0.11b	2.89±0.23b	2.95
	T2	2.85±0.11a	2.91±0.14bc	3.13±0.19a	3.11±0.09a	3.00±0.07ab	3.00
	T3	2.89±0.12a	3.19±0.20ab	2.84±0.13a	3.07±0.15a	3.16±0.17a	3.03
	T4	2.85±0.08a	3.02±0.26bc	3.23±0.42a	3.05±0.30a	3.22±0.07a	3.07
	T5	3.01±0.08a	3.43±0.34a	3.07±0.27a	3.10±0.23a	3.21±0.07a	3.16
节间长/cm	CK	2.38±0.14b	1.73±0.13c	2.07±0.24b	2.17±0.34b	2.36±0.26bc	2.14
	T1	2.45±0.23b	1.76±0.13c	1.91±0.12b	2.03±0.01bc	2.95±0.16a	2.22
	T2	2.55±0.33b	2.44±0.17a	2.41±0.25a	2.57±0.14a	1.78±0.33d	2.35
	T3	3.21±0.18b	2.11±0.16b	2.23±0.21ab	2.28±0.31ab	2.11±0.43cd	2.39
	T4	2.55±0.24a	1.86±0.12bc	1.99±0.13b	1.91±0.17c	2.73±0.17ab	2.21
	T5	2.67±0.10b	1.76±0.26c	2.04±0.03b	1.72±0.03c	2.44±0.05bc	2.13
叶柄长度/cm	CK	2.53±0.14c	3.41±0.11c	3.61±0.09bc	3.43±0.27c	4.23±0.27a	3.44
	T1	2.75±0.17bc	3.99±0.08b	3.49±0.23c	3.81±0.08b	4.34±1.03a	3.67
	T2	3.13±0.09ab	4.04±0.16b	3.69±0.17bc	4.28±0.22a	4.18±0.27a	3.86
	T3	2.71±0.16bc	3.23±0.10c	2.86±0.28d	3.65±0.12bc	4.30±0.21a	3.35
	T4	3.32±0.60a	4.58±0.24a	4.00±0.07ab	3.66±0.03bc	4.75±0.04a	4.06
	T5	3.29±0.14b	4.47±0.13a	4.20±0.31a	4.37±0.18a	4.48±0.15a	4.16
茎尖数/个	CK	7.33±0.58e	15.67±2.52d	48.33±2.08b	34.00±1.00b	50.00±4.58de	31.07
	T1	22.00±1.00cd	44.33±3.06b	44.00±5.29b	55.33±2.08a	89.33±4.04a	51.00
	T2	27.67±0.58b	53.67±0.58a	48.67±0.58b	35.67±0.58b	43.67±0.58e	41.87
	T3	23.67±0.58c	41.33±4.16b	49.67±3.51b	50.00±3.00a	68.67±2.52b	46.67
	T4	21.67±0.58d	35.67±2.31c	59.00±2.65a	49.00±8.89a	59.33±5.86c	44.93
	T5	78.33±2.08a	50.33±4.04a	47.67±3.06b	52.00±2.00a	52.33±1.53d	56.13

注:小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义.

## 2.2 不同缓释肥对菜用甘薯产量的影响

由表 3 可知,各缓释肥处理均提高了菜用甘薯的产量,不同缓释肥处理后 5 次采摘菜用甘薯的总产量由高到低依次为 T5, T3, T1, T4, T2, CK, 其中以 T5 处理菜用甘薯每 667 m<sup>2</sup> 产量最高,为 2 327.80 kg, CK 处理产量最低,为 1 599.08 kg. 各个缓释肥处理产量显著高于 CK 处理,较 CK 处理分别增产 29.05%, 13.82%, 4.55%, 28.89%, 45.57%. T5 处理比 CK, T1-T4 处理分别增产了 45.57%, 12.80%, 27.89%, 8.19%, 12.94%.

表 3 不同缓释肥处理对菜用甘薯产量的影响

/kg

处理	定植时间/d					总产量
	15	30	45	60	75	
CK	59.63e	296.40e	443.29ab	362.27c	437.49d	1 599.08d
T1	194.19d	476.96c	281.24d	411.18b	700.01a	2 063.58b
T2	234.29c	589.24a	354.15c	290.87d	351.52e	1 820.08c
T3	260.32b	436.66d	443.24ab	495.24a	516.08c	2 151.55b
T4	246.45bc	331.63e	466.03a	397.35b	619.63b	2 061.09b
T5	604.69a	538.43b	420.12b	364.77c	399.79de	2 327.80a

注: 小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义; 产量以每  $667 \text{ m}^2$  计。

### 2.3 不同缓释肥对菜用甘薯叶绿素相对质量分数的影响

由表 4 可知, 不同缓释肥处理下菜用甘薯的叶色值均值由大到小依次为 T5, T4, T3, T2, CK, T1。在定植 15 d 时, T5 处理最大, 为 36.54, 与 T3 处理间差异有统计学意义, 与其余处理间差异无统计学意义; 在定植 30 d 时, T4, T5 处理显著高于其余处理, 为 38.97, 37.74; 在定植 45 d 时, T5 处理显著高于其余处理, 为 41.38; 在定植 60 d 时, T4 处理显著高于其余处理, 但与 T3, T5 处理间差异无统计学意义; 在定植 75 d 时, T5 处理显著高于其余处理, 为 42.56。

表 4 不同缓释肥对菜用甘薯叶色值的影响

处理	定植时间/d					平均值
	15	30	45	60	75	
CK	34.61±1.63ab	33.21±2.35bc	37.49±0.91b	33.93±1.41c	38.57±3.55bc	35.56
T1	35.51±1.23ab	30.14±2.27c	37.94±0.33b	34.16±2.39c	34.66±0.40d	34.48
T2	35.01±2.88ab	33.22±1.39bc	37.81±0.56b	39.68±0.67b	36.34±0.75cd	36.41
T3	33.37±0.77b	34.52±0.73b	38.19±1.33b	41.16±1.61ab	38.45±1.70bc	37.14
T4	34.53±0.43ab	38.97±1.79a	37.92±0.89b	43.45±0.74a	41.06±0.95ab	39.19
T5	36.54±1.34a	37.74±0.74a	41.38±1.26a	41.44±2.65ab	42.56±2.59a	39.93

注: 小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义。

### 2.4 不同缓释肥对菜用甘薯亚硝酸盐累积量的影响

由表 5 可知, 不同缓释肥处理各亚硝酸盐平均累积量由低到高依次为 CK, T5, T1, T4, T2, T3, 其中以 CK 处理亚硝酸盐的平均累积量最低, 为  $2.73 \text{ mg/kg}$ , 其次为 T5 处理, 为  $3.04 \text{ mg/kg}$ ; T3 处理的平均累积量最高, 达到了  $4.19 \text{ mg/kg}$ ; T1-T4 处理在整个生长期的亚硝酸盐累积量比 CK 处理分别超出了 35.53%, 47.99%, 53.48%, 42.12%, 比 T5 处理的亚硝酸盐平均累积量分别超出了 21.71%, 32.89%, 37.83%, 27.63%。

表 5 不同缓释肥对菜用甘薯亚硝酸盐累积量的影响

/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

处理	定植时间/d					平均值
	15	30	45	60	75	
CK	1.44±0.22d	2.62±0.08b	3.89±0.30a	3.28±0.22c	2.43±0.08de	2.73
T1	4.60±0.43b	2.81±0.14b	3.09±0.25b	4.56±0.36a	3.42±0.22b	3.70
T2	3.00±0.30c	2.67±0.14b	3.00±0.08b	4.13±0.22b	7.39±0.43a	4.04
T3	4.65±0.28b	7.87±0.59a	2.90±0.22b	2.57±0.08d	2.95±0.14c	4.19
T4	5.83±0.57a	3.14±0.22b	2.85±0.22b	4.79±0.14a	2.76±0.08cd	3.88
T5	3.28±0.22c	2.85±0.08b	3.52±0.28a	3.33±0.08c	2.24±0.14e	3.04

注: 小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义。

## 2.5 不同缓释肥对菜用甘薯可溶性总糖的影响

由表 6 可知,不同缓释肥处理下菜用甘薯的可溶性总糖均值从大到小依次为 T5,T4,T3,T2,CK,T1,以 T5 处理最高,T4 处理次之,分别为 6.42%,5.55%。在生长期 T5 处理均显著高于 CK 处理(15 d 时除外),T1 处理低于 CK 处理但差异无统计学意义(15 d 时除外),T2-T5 处理比 CK 处理分别高出了 7.44%,21.04%,79.61%,107.77%。

表 6 不同缓释肥对菜用甘薯可溶性总糖的影响

/%

处理	定植时间/d					平均值
	15	30	45	60	75	
CK	1.16±0.10b	1.89±0.11bc	3.78±0.64b	3.47±0.20d	5.13±0.25ab	3.09
T1	1.24±0.01b	1.67±0.08cd	3.38±0.26b	3.80±0.14d	4.56±0.09b	2.93
T2	1.28±0.09ab	2.04±0.11b	3.81±0.20b	4.32±0.38d	5.16±0.39ab	3.32
T3	1.25±0.05ab	1.96±0.04b	3.90±0.11b	6.10±0.11c	5.51±0.53a	3.74
T4	1.37±0.05a	1.63±0.12d	3.94±0.25b	16.86±0.03b	3.97±0.34c	5.55
T5	1.25±0.06ab	2.61±0.25a	6.24±0.04a	18.48±2.00a	3.52±0.14c	6.42

注:小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义。

## 2.6 不同缓释肥对菜用甘薯可溶性蛋白质质量分数的影响

由表 7 可知,不同缓释肥处理下菜用甘薯的可溶性蛋白质质量分数均值从大到小依次为 T5,T2,T4,T3,CK,T1。T5 处理可溶性蛋白质质量分数均值最高,为 21.77 mg/g,显著高于 CK,T1 处理;T1 处理可溶性蛋白质质量分数均值最低,为 11.87 mg/g。T5 处理比其余处理分别高出 48.80%,83.40%,1.59%,35.39%,30.05%。

表 7 不同缓释肥对菜用甘薯可溶性蛋白的影响

/(mg·g<sup>-1</sup>)

处理	定植时间/d					平均值
	15	30	45	60	75	
CK	24.88±5.45b	27.34±1.17c	8.89±0.29d	2.20±0.20c	9.84±0.92c	14.63
T1	23.92±2.15b	9.83±0.20d	6.31±0.14e	2.46±0.32bc	16.85±1.25a	11.87
T2	22.28±2.12b	49.38±3.60a	17.24±0.58a	2.35±0.29c	15.93±1.09a	21.43
T3	22.38±2.11b	27.06±2.58c	12.39±0.02c	2.19±0.19c	16.38±0.39a	16.08
T4	24.91±1.32b	27.87±1.86c	12.63±0.12c	3.00±0.15b	15.29±0.50ab	16.74
T5	37.57±0.35a	38.31±1.86b	14.91±1.40b	3.85±0.55a	14.19±0.49b	21.77

注:小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义。

## 2.7 不同缓释肥对菜用甘薯 Vc 质量分数的影响

由表 8 可知,不同缓释肥处理下菜用甘薯的 Vc 质量分数均值从大到小依次为 T5,T2,CK,T4,T3,T1。T5 处理质量分数最高,T2 处理次之,为 2 118.31 mg/kg,1 328.39 mg/kg,在生长期 T5 处理的 Vc 质量分数显著高于 CK 处理(75 d 时除外)。T5 处理比其余处理分别高出 7.85%,21.99%,23.04%,45.03%,9.45%。

表 8 不同缓释肥对菜用甘薯 Vc 的影响

/(mg·kg<sup>-1</sup>)

处理	定植时间/d					平均值
	15	30	45	60	75	
CK	741.66e	1169.68b	916.66c	1 479.53b	2 090.13b	1 279.53
T1	660.60e	1572.71a	977.26c	1 331.80c	1 171.96d	1 142.87
T2	1 015.14d	789.38d	1 349.984b	956.43d	2 531.03a	1 328.39
T3	1 837.10a	778.78d	713.63d	1 293.17c	1 524.98c	1 229.53
T4	1 249.23c	946.96c	1 228.02b	1 266.65c	1 669.68c	1 272.11
T5	1 571.95b	1 670.43a	3 305.26a	1 890.13a	2 153.76b	2 118.31

注:小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义。

## 2.8 不同缓释肥对菜用甘薯丙二醛(MAD)的影响

MDA 是膜脂质氧化的最终产物. 在生物体内, 脂质被自由基过氧化, 最终的产物丙二醛会导致生命大分子如蛋白质和核酸的交联, 具有细胞毒性, 其质量分数的多少能够反映植物受损害的程度. 由表 9 可知, 不同缓释肥处理菜用甘薯的 MAD 质量分数随着定植时间的延长呈先增长后下降的趋势(T2, T4 除外). 其均值由大到小为 T2, T1, T3, CK, T4, T5, CK 处理下 MAD 质量分数均值整体高于 T4, T5 处理, T5 处理 MAD 质量分数均值最低, T2 处理 MAD 质量分数均值最高, T1 处理次之.

表 9 不同缓释肥对菜用甘薯 MAD 的影响

$/(\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1})$

处理	定植时间/d					平均值
	15	30	45	60	75	
CK	0.020 5d	0.074 8a	0.015 3d	0.014 6b	0.029 1a	0.030 9
T1	0.027 2c	0.040 6c	0.064 3a	0.015 3b	0.024 9b	0.034 5
T2	0.057 1a	0.033 0e	0.047 0b	0.022 4a	0.018 2c	0.035 5
T3	0.025 5c	0.049 0b	0.031 8c	0.023 7a	0.025 3b	0.031 1
T4	0.043 9b	0.035 3de	0.030 8c	0.010 8c	0.020 0c	0.028 1
T5	0.027 5c	0.038 4d	0.040 1bc	0.011 9c	0.017 2c	0.027 0

注: 小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义.

## 2.9 不同缓释肥对菜用甘薯超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

SOD 主要功能是消除生物体在新陈代谢过程中产生的有害物质, SOD 活性越高其清除自由基的能力就越强, 从而植物的抗逆性也就越强. 由表 10 可知, 在生长期不同缓释肥处理下 SOD 活性均值均高于 CK 处理, T5 处理 SOD 均值最大, T2 处理次之, 分别为 1 475.53 U/g, 779.83 U/g. 不同缓释肥 SOD 均值较 CK 处理分别高出 19.95%, 26.29%, 17.05%, 10.77%, 138.95%. 在定植 15 d 时以 T1 处理 SOD 活性最大, 与 T4, T5 处理差异有统计学意义; 在定植 45~75 d 时均以 T5 处理下 SOD 活性最大, 且显著高于其余处理, 分别为 1 268.95 U/g, 333.89 U/g, 4 165.31 U/g.

表 10 不同缓释肥对菜用甘薯 SOD 活性的影响

$/(U \cdot g^{-1})$

处理	定植时间/d					平均值
	15	30	45	60	75	
CK	741.65a	816.97a	387.88e	232.04c	908.98d	617.50
T1	793.73a	604.49c	811.85c	124.52d	1 368.86bc	740.69
T2	734.14a	453.72d	1 165.40b	295.85b	1 250.06c	779.83
T3	408.97a	723.71b	784.29c	207.06c	1 489.98b	722.80
T4	445.65b	798.64ab	668.38d	208.88c	1 298.32bc	683.98
T5	747.53b	861.97a	1 268.95a	333.89a	4 165.31a	1 475.53

注: 小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义.

## 2.10 不同缓释肥对菜用甘薯过氧化物酶(POD)活性的影响

POD 是一种高度活跃的适应性酶, 反映了植物的发育、内部代谢以及对外部环境的适应性, 植株受到胁迫, 体内的保护系统就会激发 POD 活性以提高其抗性, 从而抵御外界带来的伤害. 由表 11 可知, 在菜用甘薯不同定植天数下 T5 处理 POD 活性均显著高于其余肥料处理(60d 时除外), 分别为 8 293.33 U/g, 6 373.33 U/g, 5 693.33 U/g, 24 773.33 U/g. T5 处理 POD 均值比其余处理分别高出 42.01%, 48.43%, 60.70%, 53.21%, 70.63%; T1-T4 处理的 POD 均值均低于 CK 处理, 但差异无统计学意义.

表 11 不同缓释肥对菜用甘薯 POD 活性的影响

/(U · g<sup>-1</sup>)

处理	定植时间/d					平均值
	15	30	45	60	75	
CK	3 133.33c	3 720.00b	506.67e	32 600.00a	11 866.67c	10 365.33
T1	1 773.33d	2 346.67d	2 426.67bc	26 800.00b	16 240.00b	9 917.33
T2	5 386.67b	2 386.67d	1 386.67d	19 586.67d	17 053.33b	9 160.00
T3	986.67e	2 866.67c	2 173.33c	24 480.00c	17 533.33b	9 608.00
T4	5 080.00b	2 666.67cd	2 680.00b	20 040.00d	12 666.67c	8 626.67
T5	8 293.33a	6 373.33a	5 693.33a	28 466.67b	24 773.33a	14 720.00

注:小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义.

## 2.11 不同肥料处理各生理指标间相关性分析

由表 12 可知,不同缓释肥处理下菜用甘薯的产量与菜用甘薯的叶色值(SPAD)、可溶性蛋白、Vc 呈极显著正相关,与亚硝酸盐呈显著正相关;SPAD 与可溶性蛋白、Vc 呈极显著正相关;可溶性总糖与亚硝酸盐呈显著正相关.以上结果表明,各个生理指标间的关系密切,用叶绿素仪测定菜用甘薯的 SPAD 可以预测菜用甘薯的产量及品质.

表 12 不同肥料处理各生理指标间相关性

指标	产量	SPAD	可溶性总糖	可溶性蛋白	亚硝酸盐	Vc
产量	1					
SPAD	0.911**	1				
可溶性总糖	0.428	0.428	1			
可溶性蛋白	0.620**	0.597**	-0.006	1		
亚硝酸盐	0.482*	0.298	0.558*	-0.132	1	
Vc	0.694**	0.676**	0.175	0.282	0.349	1

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

## 3 讨论

肥料未来的开发与推广重点是如何提高肥料的利用率,怎样在保持现有产量和品质的前提下减少化肥的使用<sup>[4-5]</sup>.缓释肥不但节省劳动力,节省肥料,而且不需要追肥,同时能减少化肥的使用量,提高肥料利用率,减少环境污染,改善作物品质<sup>[6]</sup>.近年来缓释肥用于茭白、茄子等作物上的实验表明缓释肥能够提高产量,改善品质<sup>[7-8]</sup>,已经成为未来肥料发展的趋势.

在产量方面,缓释肥可提高农艺性状、促进作物地上部分与地下部分干物质的积累、增加作物产量.袁雪娇等<sup>[9]</sup>研究了春玉米在缓释肥处理下对干物质积累及转运方面的影响,结果表明在缓释肥+尿素处理组春玉米的干物质积累量、籽粒产量最高.张忠武等<sup>[10]</sup>将 2 种缓释肥和平衡推荐施肥应用于干制辣椒,研究表明,施用缓释复合肥对果实干质量、氮磷钾的累积吸收量均显著增大,同时减少了 20%~50% 的氮施用量.赵霞等<sup>[11]</sup>采用大田实验,将缓释肥应用于夏玉米简化栽培中,结果表明在株高、根条数、叶面积指数、干物质质量、产量等方面缓释肥都高于其余肥料处理.王成等<sup>[12]</sup>研究表明,与常规施肥相比,常规和减量施缓释肥都能显著提高干物质积累和韭菜产量.李通等<sup>[13]</sup>将缓释肥应用于莲藕上,研究了不同缓释肥对莲藕光合特性、产量及品质的影响,结果表明施用缓释肥莲藕产量和品质得到了显著提升.胡小凤等<sup>[14]</sup>将缓释复合肥应用于大白菜上,研究发现缓释复合肥提高了大白菜产量,改善了大白菜品质.本实验结果表明适宜的缓释肥可以促进菜用甘薯的生长,提高菜用甘薯产量,这可能是由于缓释肥的释放速度和



时间与作物的吸收规律相似, 确保了在植物生长的各个阶段有持续的养分供应, 从而促进了植物生长。

叶绿素是植物叶片光合作用的主要色素, 叶片中叶绿素的质量分数对植物光吸收起着重要的调控作用, 可以间接反映植物光合作用的强弱<sup>[15-16]</sup>。各个生理指标间的关系密切, 测定菜用甘薯的叶色值可以预测菜用甘薯的产量及品质。李旭铮等<sup>[17]</sup>研究表明缓释肥的施用维持了生育后期较高的光合速率及叶绿素质量分数, 促进较多的光合同化物向籽粒的转运, 进而实现增产。本实验结果表明 T2-T5 处理的叶绿素质量分数均高于对照处理, 以 T5 处理达到最高, T4 处理次之。T4、T5 处理中氮占比最高, 与孟忠雷等<sup>[18]</sup>、曾建敏等<sup>[19]</sup>的结果一致。施用缓释肥可以增加菜用甘薯的叶色值, 这可能是因为缓释肥长时间的释放增加了肥料的利用效率, 从而增加了土壤中养分的供给。

在品质方面, 可溶性总糖和可溶性蛋白是植物体内重要的渗透调节物质, 具有很强的吸水性。Vc 广泛存在于新鲜水果、蔬菜、食品以及各种药物中<sup>[20-21]</sup>。李通等<sup>[13]</sup>将缓释肥应用于莲藕, 研究结果表明合理施用缓释肥可以提高莲藕品质。韩桂琪等<sup>[22]</sup>研究表明缓释肥在改善辣椒根系生长、提高果实 Vc 和氨基酸质量分数方面效果较好。李彦华等<sup>[23]</sup>将缓释肥应用于黄瓜上, 结果表明 2 种专用缓释肥降低了黄瓜的硝酸盐质量分数, 对总干物质量、果实干物质量、果实的氨基酸和 Vc 质量分数均有显著提高。本实验研究发现合理施用缓释肥可以提高菜用甘薯可溶性糖、可溶性蛋白和 Vc 的质量分数, 缓释肥处理较对照处理整体提高了菜用甘薯的品质, 与薛娟等<sup>[8]</sup>、张发宝等<sup>[24]</sup>研究结果相似, 这可能是因为肥料和基质中富含有机质, 从而有效改善了菜用甘薯的品质。

在酶活性方面, 本研究发现通过 T5 处理即施加绿盼缓释肥可以在菜用甘薯生长期显著提高 SOD 和 POD 活性, 使其生长期叶片仍能保持较高的活性水平, 降低了菜用甘薯整个生长过程中 MDA 的质量分数, 从而延缓了生长期叶片的衰老速度。

本实验对盆栽菜用甘薯施肥因素进行了初步探究, 明确了在不同缓释肥处理下对菜用甘薯生长发育、产量、品质及酶活性的影响, 为盆栽菜用甘薯高产优质栽培提供了理论依据, 也为盆栽菜用甘薯生育期一次性施肥提供了技术指导。对于菜用甘薯每次采收后的氮磷钾养分的需肥规律和如何吸收利用还有待进一步研究。

## 4 结论

对不同缓释肥处理下的菜用甘薯产量、农艺性状、品质和酶活性等指标的分析结果表明, 适宜的缓释肥对菜用甘薯植株的生长发育具有更好的促进作用, 能够提高其产量及品质, 也能提高 SOD 和 POD 活性, 降低 MDA 的质量分数。综合本实验结果, 盆栽菜用甘薯可选择适当尺寸的栽培容器(60 cm×24.5 cm×18.5 cm), 每盆定植菜用甘薯 32 株, 栽培基质可选择草炭、珍珠岩、蛭石、椰糠的混合基质, 其体积比为 1:1:1:5, 施用绿盼缓释肥 12.5 g, 过磷酸钙 115.63 g, 硫酸钾 31.38 g。

## 参考文献:

- [1] 杨士辉. 值得开发的营养保健蔬菜——甘薯茎尖 [J]. 蔬菜, 1999(3): 16.
- [2] DONG Y, WANG Z Y. Release Characteristics of Different N Forms in an Uncoated Slow/Controlled Release Compound Fertilizer [J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(3): 330-337.
- [3] HU H Y, NING T Y, LI Z J, et al. Coupling Effects of Urea Types and Subsoiling on Nitrogen-Water Use and Yield of Different Varieties of Maize in Northern China [J]. Field Crops Research, 2013, 142: 85-94.
- [4] 赵秉强, 林治安, 刘增兵. 中国肥料产业未来发展道路——提高肥料利用率 减少肥料用量 [J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(6): 1-4.
- [5] 高璐阳, 王怀利, 王晓飞, 等. 我国发展缓控释肥的意义及前景 [J]. 磷肥与复肥, 2015, 30(4): 14-17.

- [6] 王恩飞, 崔智多, 何璐, 等. 我国缓/控释肥研究现状和发展趋势 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(21): 12762-12764, 12767.
- [7] 李通, 武占会, 佟静, 等. 不同缓释肥对茭白光合作用、产量及品质的影响 [J]. 中国蔬菜, 2021(4): 82-87.
- [8] 薛娟, 颀建明, 肖雪梅, 等. 不同缓释肥对茄子生长、产量及品质的影响 [J]. 浙江农业学报, 2015, 27(4): 579-584.
- [9] 袁雪娇, 杨恒山, 张玉芹, 等. 缓释肥对春玉米干物质积累及转运的影响 [J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2018, 33(1): 40-44.
- [10] 张忠武, 王建新, 鲁耀, 等. 缓释肥及平衡施肥对干制辣椒氮磷钾吸收的影响 [J]. 西北农业学报, 2013, 22(6): 126-131.
- [11] 赵霞, 刘京宝, 王振华, 等. 缓控释肥对夏玉米生长及产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 247-249.
- [12] 王成, 吕剑, 李静, 等. 缓释肥替代普通化肥对韭菜生长生理、养分利用及产量与品质的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019.
- [13] 李通, 佟静, 王丽萍, 等. 不同缓释肥对莲藕光合特性、产量及品质的影响 [J]. 中国瓜菜, 2021, 34(5): 76-81.
- [14] 胡小凤, 李文一, 王正银. 缓释复合肥对大白菜产量和品质的影响 [J]. 河南农业科学, 2010, 39(9): 102-105.
- [15] 杨利云, 段胜智, 李军营, 等. 不同温度对烟草生长发育及光合作用的影响 [J]. 西北植物学报, 2017, 37(2): 330-338.
- [16] MAXWELL K, JOHNSON G N. Chlorophyll Fluorescence-A Practical Guide [J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(345): 659-668.
- [17] 李旭铮, 李援农, 邹奇芳, 等. 缓释肥配施对夏玉米灌浆特性的影响 [J]. 节水灌溉, 2022(8): 84-90, 101.
- [18] 孟忠雷, 徐军, 王斌, 等. 缓释肥在小麦简化栽培生产中的应用效果试验 [J]. 上海农业科技, 2020(2): 87-88, 107.
- [19] 曾建敏, 彭少兵, 崔克辉, 等. 热带水稻光合特性及氮素光合效率的差异研究 [J]. 作物学报, 2006, 32(12): 1817-1822.
- [20] 吴春艳. 水果中维生素 C 含量的测定及比较 [J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(3): 90-91.
- [21] 阎树刚, 韩涛. 果蔬及其制品中维生素 C 测定方法的评价 [J]. 中国农学通报, 2002, 18(4): 110-112.
- [22] 韩桂琪, 徐卫红. 专用缓释肥对辣椒生物性状、品质及产量的影响 [J]. 贵州农业科学, 2015, 43(4): 114-119.
- [23] 李彦华, 孙立飞, 徐卫红, 等. 专用缓释肥料对黄瓜产量品质及 N, P, K 养分吸收利用的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(7): 1-10.
- [24] 张发宝, 唐拴虎, 徐培智, 等. 缓释肥料对辣椒产量及品质的影响研究 [J]. 广东农业科学, 2006, 33(10): 47-49.

责任编辑 周仁惠