

不同追肥处理对叶菜型甘薯产量、品质及硝酸盐积累的影响

丁芳, 孙喜云, 刘广卿, 吕树立

(商丘市农林科学院 河南商丘 476000)

摘要: 为提高黄淮地区叶菜型甘薯产量, 改善茎尖品质, 明确减施氮肥、配施有机肥在黄淮地区叶菜型甘薯生产中的应用效果及其可行性, 以鄂菜薯 10 号为试验材料, 设计单追施氮肥(CK)、单追施有机肥(T1)、有机肥+减量 30% 氮肥(T2)、有机肥+减量 20% 氮肥(T3)、有机肥+减量 20% 氮肥+微生物菌剂(T4)共 5 个处理, 研究不同追肥处理对叶菜型甘薯产量、品质及硝酸盐含量的影响。结果表明, 与 CK 相比, 不同追肥处理均能提高叶片总叶绿素含量和抗氧化酶活性, 降低硝酸盐含量。其中, T4 处理叶片总糖、维生素 C、黄酮含量较 CK 分别显著提高 17.27%、13.33%、17.85%, 茎尖产量达 36 917.73 kg·hm⁻², 较 CK 显著提高 19.30%。T4 处理硝酸盐含量最低为 455.75 mg·kg⁻¹, 较 CK 显著降低 24.59%。相关性分析表明, 菜用甘薯叶片 SPAD 与产量呈极显著正相关, 与蛋白质含量、维生素 C 含量、POD 活性和 SOD 活性呈显著正相关, 与丙二醛含量呈显著负相关。综合分析可知, 氮肥 96 kg·hm⁻²+有机肥 6000 kg·hm⁻²+微生物菌剂 45 kg·hm⁻²的追肥模式可有效提高薯尖品质和产量, 减少硝酸盐累积, 可作为黄淮地区叶菜甘薯的推荐追肥模式。

关键词: 叶菜型甘薯; 追肥处理; 叶绿素含量; 硝酸盐含量; 产量

中图分类号: S531

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)07-156-07

Effects of different topdressing treatments on the yield, quality, and nitrate accumulation of vegetable sweet potato

DING Fang, SUN Xiyun, LIU Guangqing, LÜ Shuli

(Shangqiu Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shangqiu 476000, Henan, China)

Abstract: To increase the yield of vegetable sweet potato in Huanghuai region, improve the quality of stem tips, and clarify the application effect and feasibility of reducing nitrogen fertilizer and applying organic fertilizer in the production of vegetable sweet potato in Huanghuai region, the experiment was designed using Eshu No. 10 as the test material, with five treatments including single topdressing with nitrogen fertilizer(CK), single topdressing with organic fertilizer(T1), organic fertilizer + reduced nitrogen fertilizer by 30%(T2), organic fertilizer + reduced nitrogen fertilizer by 20%(T3), and organic fertilizer + reduced nitrogen fertilizer by 20% + microbial agent(T4). The effects of different topdressing treatments on the yield, quality, and nitrate content of vegetable sweet potato were studied. The results showed that compared with CK, different topdressing treatments could increase the total chlorophyll content and antioxidant enzyme activity of leaves, and reduce the nitrate content. Among them, the total sugar, vitamin C, and flavonoid content of leaves in T4 treatment were significantly increased by 17.27%, 13.33%, and 17.85%, respectively. The stem tip yield reached 36 917.73 kg·hm⁻², which was significantly increased by 19.30% compared with CK. The nitrate content in T4 treatment was the lowest at 455.75 mg·kg⁻¹, which was significantly reduced by 24.59% compared with CK. Correlation analysis showed that SPAD of vegetable sweet potato was significantly positively correlated with yield, and significantly positively correlated with protein content, vitamin C content, POD activity, and SOD activity, and significantly negatively correlated with malondialdehyde content. Comprehensive analysis showed that the topdressing mode of nitrogen fertilizer 96 kg·hm⁻² + organic fertilizer 6000 kg·hm⁻² + microbial agent 45 kg·hm⁻² can effectively improve the quality and yield of sweet potato tips, reduce nitrate accumulation, and can be recommended as a topdressing mode for vegetable sweet

收稿日期: 2023-12-07; 修回日期: 2024-04-01

基金项目: 河南省“四优四化”科技支撑项目(SYSH20220614012); 商丘市农林科学院科技攻关项目(2021006.2)

作者简介: 丁芳, 女, 助理研究员, 主要从事蔬菜栽培研究工作。E-mail: 214681636@qq.com

通信作者: 孙喜云, 女, 助理研究员, 主要从事叶菜型甘薯栽培研究工作。E-mail: sunxiyun0901@126.com

potato in Huanghuai region.

Key words: Vegetable sweet potato; Topdressing treatment; Chlorophyll content; Nitrate content; Yield

叶菜型甘薯是一种新型的营养蔬菜,可食用部分包括叶片、叶柄和嫩茎,不仅营养丰富,而且具有良好的医疗保健作用,美国和日本称其为“长寿菜”,而中国医学界则将其列入抗癌蔬菜种类^[1-2]。菜用甘薯不仅区域适应性强、再生能力强,而且生长速度快,尤其是在绿叶菜短缺、叶类蔬菜生产较少的夏季,菜用甘薯作为伏夏缺菜的有益补充,受到越来越多人的欢迎和喜爱^[3]。近年来,菜用甘薯发展迅速,种植面积不断扩大^[4-6],生产中采用一次栽种连续多次采收的方法,采收后需及时补充肥料,以满足叶菜甘薯茎尖继续生长的需求,常采用追施氮肥的方法。部分地区为了追求高产目标,长期过量偏施氮肥,导致土壤板结、土壤结构被破坏、甘薯品质下降、硝酸盐含量过高等一系列负面影响^[7]。

已有研究表明,减施氮肥、配施有机肥和微生物菌剂能有效改善土壤质量,降低土壤容重,提高作物品质和产量^[8-10]。微生物菌剂作为一种新型菌肥^[11],包含众多有益微生物,能够有效提高生物有机肥的利用率,促进土壤新陈代谢。王立辉等^[12]研究表明,有机肥配施微生物菌剂可显著促进蒜苗植株生长,提高产量,降低硝酸盐含量。翟稳熙^[13]的研究表明,微生物菌剂能提高菜用甘薯的株高、茎粗,以及改善甘薯品质。曹巍等^[14]研究表明,有机肥配施微生物菌剂对促进大豆生长和提高产量效果显著。目前,氮肥、有机肥和微生物菌剂配合施用在菜用甘薯方面的研究鲜见报道。因此,笔者对5种不同追肥模式进行比较,研究其对菜用甘薯生长、生理、产量及品质的影响,以期为菜用甘薯合理施肥、减少环境污染、提高叶菜品质提供合理的肥料施用方案。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试菜用甘薯品种为鄂菜薯10号。供试氮肥为尿素[N含量(*w*,后同)46%]、磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 含量12%)、钾肥为硫酸钾(K_2O 含量53%),由史丹利化肥股份有限公司生产;供试有机肥(有机质含量 $\geq 46.8\%$,N含量1.60%, P_2O_5 含量4.5%, K_2O 含量0.53%,pH 6.98)由根力多生物科技有限公司提供。微生物菌剂(功能菌种为芽孢杆菌,有效活菌数 ≥ 2 亿CFU·g⁻¹)由河南亿丰年生物科技有限公司提供。

1.2 试验设计

试验于2022年5—8月在商丘市农林科学院双八试验基地进行,土壤为沙壤土,pH 6.88。有效养分 P_2O_5 、 K_2O 、N含量分别为36.78、122.37、55.12 mg·kg⁻¹。种苗培养于基地大棚内,待生长到试验要求后,取长势一致、无病虫害的茎尖苗移栽到露天试验地,进行小高畦栽培。畦面宽60 cm,每畦3行,行距和株距为20 cm×18 cm,畦间留25~30 cm空间作为排水和采摘作业用。

试验设5个处理(表1),每个处理3次重复,每小区行长3.6 m、宽1.8 m,随机区组排列,种植密度为19万株·hm⁻²,栽种前每小区施氮肥150.0 kg·hm⁻²、磷肥90.0 kg·hm⁻²、钾肥105.0 kg·hm⁻²作为底肥,整个生育期灌溉、病虫害防治等同大田常规栽培。

待茎尖长至12 cm左右时,即可采收。首次采收完成后,于次日按试验设计进行肥料追施,待茎尖重新生长至12 cm(10 d)左右时,各小区采收并测定品质指标。二次采收结束后,各小区继续追施与之前相同的肥料,用于检测硝酸盐含量的变化,各小区管理模式相同。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 菜用甘薯茎尖生长指标、产量测定 于采收前1 d,每小区选取整齐有代表性的植株10株,3次重复,共计30株,调查茎粗、节间长、茎尖采摘数。用游标卡尺测量摘断茎尖基部处的粗度,用直尺测量摘断茎尖基部的第1节间长度即为节间长,茎尖采摘数是用计数法测定各处理茎尖采摘数^[5]。各个小区以12 cm左右的所有鲜嫩茎尖为标准进行采摘,计总产量。

1.3.2 叶绿素含量及叶片 SPAD 测定 进入采收期,每小区选取长势一致的植株5株,3次重复,共计15株,使用SPAD-502叶绿素测定仪(日本Minolta公司生产),于天气晴好的09:00—10:00时,选取植株最上部的完全展开叶片测定SPAD。每株至少测取5个位点,取平均值。采用95%乙醇提取法测定叶绿素含量^[15]。

1.3.3 菜用甘薯营养品质测定 采收后,用电子秤称量各小区产量;称量完后每小区取茎尖长势一致的植株100株,从顶端剪取2~3片完全展开叶,剪碎、混匀、准确称量每份1.00 g装入封口袋中,保存在-80℃超低温冰箱中,用于测定蛋白质、总糖、维生素C、多酚、花青素、硝酸盐含量,3次重复;剩余剪

表1 试验各处理肥料及微生物菌剂施用情况
Table 1 The amount fertilization in different treatments

处理 Treatment	底肥 Base fertilizer/(kg·hm ⁻²)	追肥种类与数量 Types and quantities of topdressing			追肥方式 Topdressing method
		氮肥 Nitrogenous fertilizer/(kg·hm ⁻²)	有机肥 Organic fertilizer/(kg·hm ⁻²)	微生物菌剂 Microbial agent/(kg·hm ⁻²)	
CK	氮肥 150+磷肥 90+钾肥 105 Nitrogen fertilizer 150+ phosphorus fertilizer 90+ potassium fertilizer 105	120	0	0	水肥一体化灌溉 Integrated water and fertilizer irrigation
T1	氮肥 150+磷肥 90+钾肥 105 Nitrogen fertilizer 150+ phosphorus fertilizer 90+ potassium fertilizer 105	0	6000	0	穴施 Hole irrigation
T2	氮肥 150+磷肥 90+钾肥 105 Nitrogen fertilizer 150+ phosphorus fertilizer 90+ potassium fertilizer 105	84	6000	0	水肥一体化灌溉(尿素) Integrated water and fertilizer irrigation (urea) 穴施(有机肥) Hole irrigation(organic fertilizer)
T3	氮肥 150+磷肥 90+钾肥 105 Nitrogen fertilizer 150+ phosphorus fertilizer 90+ potassium fertilizer 105	96	6000	0	水肥一体化灌溉(尿素) Integrated water and fertilizer irrigation (urea) 穴施(有机肥) Hole irrigation(organic fertilizer)
T4	氮肥 150+磷肥 90+钾肥 105 Nitrogen fertilizer 150+ phosphorus fertilizer 90+ potassium fertilizer 105	96	6000	45	水肥一体化灌溉(尿素) Integrated water and fertilizer irrigation (urea) 穴施(有机肥+微生物菌剂) Hole irrigation (organic fertilizer + microbial inoculant)

碎的叶片放入烘箱,80℃烘12h,用于测定黄酮含量。

采用G-250染色法测定蛋白质含量^[15];采用钼蓝比色法测定维生素C含量^[16];采用蒽酮比色法测定总糖含量^[15];采用福林酚比色法测定多酚含量^[17];采用氯化铝比色法测定黄酮含量^[18];采用水杨酸-硫酸法测定硝酸盐含量^[15];采用分光光度法测定花青素含量^[19]。

1.3.4 叶片抗氧化酶活性和丙二醛含量测定 采收期采用愈创木酚氧化法测定过氧化物酶(POD)活性^[20],采用氮蓝四唑光化还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性^[20],采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量^[20]。

1.3.5 硝酸盐含量测定 参考王远等^[3]的测定方法,于二次追肥的第2天开始,取最顶端的2片完

全展开叶片,剪碎、混匀后,称量每份1.00g放入封口袋中,-80℃超低温冰箱保存,连续取样11d,用于测定硝酸盐含量。

1.4 数据处理

采用Excel 2016进行数据记录、整理和作图,采用SPSS 21.0进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同追肥处理对菜用甘薯叶绿素含量和叶色值(SPAD)的影响

由表2可知,不同施肥处理下,在生长过程中,菜用甘薯叶片叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量均发生较大变化。T3处理叶绿素a含量最高,T4

表2 不同追肥处理对菜薯叶绿素含量及SPAD的影响

Table 2 Effect of different topdressing treatments on chlorophyll content and SPAD of vegetable sweet potato

处理 Treatment	w(叶绿素a) Chlorophyll a content/(mg·g ⁻¹)	w(叶绿素b) Chlorophyll b content/(mg·g ⁻¹)	w(总叶绿素) Total chlorophyll content/(mg·g ⁻¹)	SPAD
CK	1.21±0.045 b	0.45±0.004 c	1.66±0.085 c	40.19±1.39 c
T1	1.26±0.018 b	0.42±0.019 c	1.68±0.037 c	39.84±0.47 c
T2	1.29±0.054 b	0.54±0.027 b	1.83±0.081 ab	44.86±1.48 b
T3	1.42±0.012 a	0.53±0.018 b	1.95±0.030 a	45.85±2.06 b
T4	1.40±0.017 a	0.62±0.042 a	2.02±0.021 a	49.29±1.72 a

注:同列不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatment at 0.05 level. The same below.

处理叶绿素 b 含量最高,均显著高于 CK、T1 和 T2 处理;总叶绿素含量最高的为 T4 处理,达 $2.02 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,较 CK 和 T1 处理分别显著提高 21.68%和 20.24%,T2、T3 与 T4 处理之间差异不显著;T4 处理 SPAD 最高,为 49.29,CK、T1、T2 和 T3 处理 SPAD 分别较 T4 处理显著降低 18.46%、19.17%、8.99%、6.98%,T1 处理与 CK 差异不显著。由此可知,与单施氮肥和有机肥相比,氮肥减施配施有机肥处理 SPAD 显著提高,微生物菌剂的加入能显著提高叶绿素含量和 SPAD。

2.2 不同追肥处理对菜用甘薯营养品质的影响

从表 3 可以看出,在基肥相同的条件下,不同追肥处理对菜用甘薯叶片营养品质有一定的影响。T4 处理的蛋白质含量最高,达 $27.36 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,分别比 T1 和 T2 处理显著提高 8.96%、7.34%,与 CK

和 T3 处理差异不显著。维生素 C 含量以 T4 处理最高,达 $0.34 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,分别比 CK、T1 和 T2 处理显著提高 13.33%、9.68%、13.33%,与 T3 处理差异不显著。总糖含量以 T4 处理最高,达 $14.94 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,与 T2 和 T3 处理无显著差异,但均显著高于 CK。T2、T3、T4 处理的多酚含量差异不显著,但均显著高于 T1 处理。T2、T3、T4 处理的黄酮含量差异不显著,但均显著高于 CK 和 T1 处理。在硝酸盐含量方面,CK 处理的含量最高,为 $597.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,T1、T2、T3、T4 的硝酸盐含量较 CK 分别降低 16.82%、13.26%、8.48%、24.15%。花青素含量以 T4 处理最高,为 $0.045 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,分别比 CK、T1、T2 和 T3 处理显著提高 36.36%、21.62%、18.42%、18.42%;T1、T2 和 T3 处理间差异不显著,但均显著高于 CK。

表 3 不同追肥处理对菜用甘薯叶片营养品质的影响

Table 3 Effect of different topdressing treatments on nutritional quality of vegetable sweet potato

处理 Treatment	w(蛋白质) Protein content/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	w(维生素 C) Vitamin C content/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	w(总糖) Total sugar content/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	w(多酚) Polyphenol content/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	w(黄酮) Flavonoids content/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	w(硝酸盐) Nitrate content/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(花青素) Anthocyanin content/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
CK	27.07±0.56 a	0.30±0.014 c	12.74±0.24 c	94.39±1.86 ab	19.66±0.54 b	597.72±13.51 a	0.033±0.001 2 c
T1	25.11±0.59 bc	0.31±0.068 bc	13.31±0.86 bc	92.41±4.91 b	17.68±0.72 c	497.21±14.18 c	0.037±0.001 1 b
T2	25.49±0.61 b	0.30±0.055 c	14.93±0.29 a	99.64±2.92 a	21.84±0.32 a	518.46±14.48 bc	0.038±0.001 4 b
T3	27.30±1.03 a	0.33±0.023 ab	14.67±0.41 ab	100.63±0.89 a	22.45±0.17 a	547.06±17.46 ab	0.038±0.000 8 b
T4	27.36±0.45 a	0.34±0.007 a	14.94±0.31 a	100.14±4.03 a	23.17±1.64 a	453.38±8.53 d	0.045±0.001 6 a

2.3 不同追肥处理对菜用甘薯茎尖生长指标、茎尖产量和增产率的影响

由表 4 可知,不同追肥处理对菜用甘薯茎尖生长的影响程度不同。各处理中以 T4 处理的茎尖数最多,为 28.34 个,较 CK 显著增加 8.46%,T1、T2、T3 处理的茎尖数较 T4 处理分别减少 16.62%、4.66%、5.93%,表明微生物菌剂的加入对甘薯茎尖生产有利。各处理节间长差异不显著,T4 处理最大。T2 处理茎粗最大,为 2.96 mm,比 CK 和 T1 处理分别显著提高 11.28%、9.63%,其次是 T4 处理,T2、T3、T4 处理差异不显著。在产量方面,T4

产量最高,达 $36\ 917.73 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,T1 产量较 CK 显著降低 11.78%,T2、T3、T4 处理产量较 CK 分别提高 4.29%、6.60%、19.30%,CK 与 T2 和 T3 处理产量差异不显著。以上结果表明,追肥种类直接影响菜用甘薯的农艺性状指标,减施氮肥配施有机肥及微生物菌剂能显著提高菜用甘薯的产量。

2.4 不同追肥处理对菜用甘薯叶片抗氧化酶活性和丙二醛含量的影响

由表 5 可知,不同追肥处理对叶片抗氧化酶活性和丙二醛含量有一定的影响。与 CK 相比,不同施肥处理的叶片 SOD、POD 活性均有不同程度的

表 4 不同追肥处理对菜用甘薯茎尖生长指标、茎尖产量的影响

Table 4 Effect of different topdressing treatment on growth indicators and stem tips yield of vegetable sweet potato

处理 Treatment	茎粗 Stem diameter/mm	节间长 Internode length/cm	茎尖数 Number of stem tips	产量 Yield/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	比 CK± Compared with CK±/%
CK	2.66±0.026 b	2.75±0.17 a	26.13±1.39 b	30 945.01±180.18 b	
T1	2.70±0.049 b	2.54±0.06 a	23.63±0.37 c	27 300.95±730.34 c	-11.78
T2	2.96±0.063 a	2.72±0.01 a	27.02±0.06 ab	32 273.36±116.06 b	+4.29
T3	2.88±0.173 a	2.61±0.13 a	26.66±0.73 b	32 986.35±209.76 b	+6.60
T4	2.94±0.056 a	2.76±0.14 a	28.34±1.10 a	36 917.73±201.45 a	+19.30

提高,丙二醛含量均显著降低。其中,T4处理的SOD和POD活性较CK、T1、T2、T3处理分别显著提高19.51%、10.73%、8.68%、8.76%和27.37%、16.81%、21.60%、17.51%;T1、T2、T3处理的SOD和POD活性差异均不显著。T1、T2、T3、T4处理的MDA含量较CK分别显著降低5.71%、20.00%、22.86%、31.43%,T4处理最低,较T2、T3处理分别显著降低14.29%、11.11%,T2和T3处理差异不显著。

2.5 不同追肥处理各生理指标的相关性分析

由表6可知,不同追肥处理下,叶菜型甘薯产量与SPAD、总糖含量呈极显著正相关,与蛋白质、

表5 不同追肥处理对菜用甘薯叶片抗氧化酶活性和丙二醛含量的影响

Table 5 Effect of different topdressing treatment on antioxidant enzyme activity and malondialdehyde content of vegetable sweet potato

处理 Treatment	POD 活性 POD activity/ (U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	SOD 活性 SOD activity/ (U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	b(丙二醛) MDA content/ (μmol·g ⁻¹)
CK	126.12±1.92 c	459.43±13.43 d	0.035±0.001 4 a
T1	137.52±1.18 b	495.86±18.76 bc	0.033±0.001 2 b
T2	132.11±7.13 bc	505.20±27.38 b	0.028±0.000 4 c
T3	136.70±5.37 b	504.85±16.09 b	0.027±0.001 7 c

表6 不同追肥处理各生理指标间相关性分析

Table 6 Correlation analysis of physiological indicators of different topdressing treatment

指标 Index	SPAD	蛋白质含量 Protein content	维生素C含量 Vitamin C content	总糖含量 Total sugar content	硝酸盐含量 Nitrate content	产量 Yield	POD活性 POD activity	SOD活性 SOD activity	MDA含量 MDA content
SPAD	1								
蛋白质含量 Protein content	0.74*	1							
维生素C含量 Vitamin C content	0.87*	0.55	1						
总糖含量 Total sugar content	0.34	0.06	0.63	1					
硝酸盐含量 Nitrate content	0.29	0.53	0.04	0.59	1				
产量 Yield	0.91**	0.79*	0.82*	0.89**	0.59	1			
POD活性 POD activity	0.82*	0.39	0.92**	0.53	-0.09	0.71	1		
SOD活性 SOD activity	0.74*	0.46	0.81*	0.53	-0.28	0.53	0.91**	1	
MDA含量 MDA content	-0.92**	-0.81*	-0.87*	-0.85*	-0.13	-0.82*	-0.84*	-0.88*	1

注:*表示显著相关(p<0.05),**表示极显著相关(p<0.01)。

Note: * indicates significant correlation (p<0.05), ** indicates extremely significant correlation (p<0.01).

维生素C含量呈显著正相关,与丙二醛含量呈显著负相关;SPAD与维生素C含量、蛋白质含量、POD活性、SOD活性呈显著正相关,与MDA含量呈极显著负相关。以上结果表明,不同生理指标间关系密切,SPAD对预测菜用甘薯的产量和品质具有一定的指导意义。

2.6 不同追肥处理对菜用甘薯叶片硝酸盐含量的影响

由图1可知,各追肥处理硝酸盐含量均随追肥时间的延长呈先上升后下降的变化趋势,单独追施有机肥,菜薯叶片硝酸盐含量变化幅度较小。CK在追肥8d时硝酸盐含量达到最大值1132.12 mg·kg⁻¹,

第12天时逐渐降低为604.33 mg·kg⁻¹;T2、T3、T4处理在追肥第6天达到最大值,分别为856.12、909.59、893.21 mg·kg⁻¹,然后逐渐下降;T4处理在追肥10d时硝酸盐含量降低为616.52 mg·kg⁻¹,12d时降低为455.75 mg·kg⁻¹,且随着氮肥追施量的增大,叶片中硝酸盐含量也随之增高,降低到处理前水平所需要的时间变长,微生物菌剂的加入能明显降低叶菜甘薯叶片的硝酸盐含量。追肥处理后,一般间隔12d左右采摘,才能避免硝酸盐过量积累。

3 讨论与结论

叶绿素是在光合作用中发挥重要作用的色素

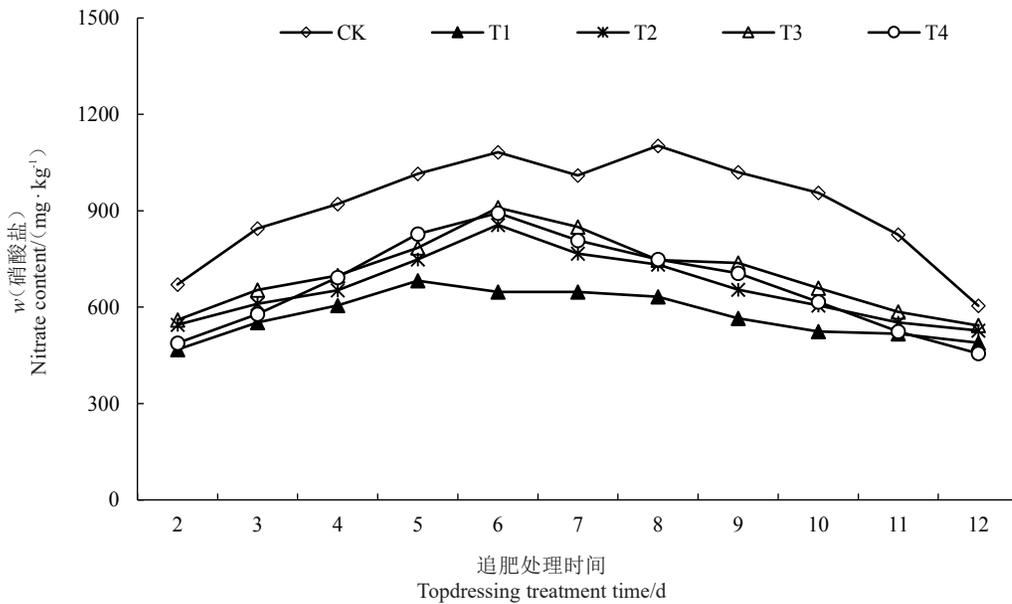


图1 不同追肥处理硝酸盐含量随时间的变化

Fig. 1 Changes of nitrate content under different topdressing treatments

分子,含量高低与光合作用紧密相关,不仅影响植物干物质积累,还会对植物体内物质的转化产生影响^[21]。王立辉等^[12]研究认为,化肥配施生物有机肥和微生物菌剂处理能显著提高蒜苗叶片色素含量。本研究结果表明,与单独追施氮肥或者有机肥相比,氮肥减量配施有机肥处理,叶色值显著升高,表明有机肥能够部分替代氮肥使菜用甘薯叶色值维持在较高水平,氮肥+有机肥+微生物菌剂配施处理叶绿素含量显著提高,SPAD 大幅提升,这与蒯佳琳等^[22]研究的生物有机肥配施微生物菌剂促进莴笋叶片色素含量增多的结果一致。叶绿素含量的高低直接影响植株的光合作用,从而对品质和产量产生影响。在减量氮肥的基础上,同时追施有机肥和微生物菌剂处理,菜用甘薯的茎粗、茎尖数均显著高于 CK,氮肥减量 20%和 30%配施有机肥,产量较单追施氮肥处理分别提高 6.60%、4.29%,这与徐大兵等^[23]关于叶菜类蔬菜用有机肥替代 25%~50%氮肥能获得较高产量的研究结果一致。减量氮肥 20%配施有机肥和微生物菌剂能有效提高菜用甘薯的茎尖数、茎粗和产量,分别较单追施氮肥处理提高 8.46%、10.53%、19.30%。

有研究认为,微生物菌肥能够有效降低大白菜、辣椒和豆角等农产品的亚硝酸盐含量^[24-25]。张静等^[11]研究表明,有机肥部分替代氮肥可以减少氮元素的摄入,还可以调控微生物菌群,改善蔬菜品质。李卫东等^[26]研究表明,施用微生物菌剂对马铃薯的维生素 C、可溶性糖含量等营养品质有大幅

度的提升。本试验结果表明,与单独追施氮肥或者有机肥相比,氮肥减量配施有机肥处理能够提高菜薯叶片维生素 C、总糖、多酚、黄酮和花青素含量,硝酸盐含量随氮肥用量的降低而降低;与其他处理相比,微生物菌剂的加入,能显著降低菜用甘薯硝酸盐含量、提高花青素含量,有效改善菜用甘薯的品质,这与段文学等^[27]的研究结果一致。

当植物受到逆境胁迫时,植物体内的抗氧化酶活性会迅速提高,消除体内产生的大量活性氧,从而减轻活性氧对膜质过氧化物的伤害^[28]。本试验结果表明,较单一追施氮肥相比,各施肥处理菜用甘薯叶片的 SOD 和 POD 活性均升高,MDA 含量均显著降低,表明有机肥和微生物菌剂的追施使菜用甘薯叶片能保持较高的活性水平,降低了 MDA 含量,从而达到延缓叶片衰老、保障叶片的光合作用、促进植株生长发育的效果,这与任守才等^[29]的研究结果一致。其中,T4 处理的 SOD 和 POD 活性最高,表明减量氮肥和有机肥、微生物菌剂配施能够改善土壤微生态环境,提高植株抗逆能力,进而提高菜薯生长发育水平。

近些年,蔬菜高硝酸盐含量问题受到广泛关注,硝酸盐的积累是植物正常生长的生理需求,但是,当硝态氮累积的程度超过了其生长所需,就会导致蔬菜中硝酸盐积累过量^[30]。有研究认为,微生物菌肥能够增强植物氮素代谢过程中的关键酶活性,降低小辣椒、豆角等蔬菜的亚硝酸盐含量^[31]。本研究表明,随追肥时间延长,不同处理硝酸盐含量

均呈先升高后降低的变化趋势,并且随追施氮肥量的增加,硝酸盐含量呈升高趋势,这与王丹丹^[32]关于氮素对叶类蔬菜硝酸盐累积影响的研究结论一致。单独追施氮肥硝酸盐含量在追肥后8 d左右达到峰值,追肥后12 d左右残留硝酸盐含量 $604.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。氮肥减施配施有机肥处理硝酸盐含量出现峰值在追肥后6 d左右,追肥后12 d硝酸盐含量降为 $527.25 \sim 542.86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,添加微生物菌剂后,追肥后12 d硝酸盐含量降为 $455.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,较常规单追氮肥大幅降低24.59%,安全品质大大提升。可能是因为氮肥和有机肥配施有利于硝态氮和亚硝酸盐的转化,微生物菌剂的加入有利于提高植物氮素同化代谢过程中的关键酶活性^[33],具体原因还有待于进一步研究。

综上所述,与单一追施氮肥相比,氮肥减施20%增施有机肥和微生物菌剂的追肥方式,能够有效提高菜用甘薯叶片SPAD、叶绿素含量,增强抗氧化酶活性,提升叶菜型甘薯的品质和产量,降低菜用甘薯叶片中的硝酸盐残留量,在一定程度上避免了因为长期偏施氮肥引起的蔬菜品质下降、产量降低以及硝酸盐过量残留的问题,提高了食品安全性,减轻了环境污染,符合农业绿色发展的要求,为蔬菜产业的可持续发展提供了一定的数据支撑。

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] 曹清河,刘义峰,李强,等.菜用甘薯国内外研究现状及展望[J].中国蔬菜,2007(10):41-43.
- [3] 王远,高兵倩,王珽,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.
- [4] 王庆南,戎新祥,赵荷娟,等.菜用甘薯研究进展及开发利用前景[J].南京农专学报,2003,19(1):20-23.
- [5] 甘学德,黄洁.菜用型甘薯的研究概况及发展对策[J].热带农业科学,2009,29(9):29-33.
- [6] 张佳琳,宋聚江,王海山,等.北方地区菜用甘薯高效栽培技术[J].蔬菜,2023(11):76-78.
- [7] 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.
- [8] 张佳佳,张丽君,黄祥玉,等.有机肥部分替代化肥对花椰菜产量的影响[J].浙江农业科学,2022,63(8):1785-1787.
- [9] 耿川雄,张茜,朱红业,等.化肥不同减量比例对白菜、甘蓝产量和肥料利用率的影响[J].西南农业学报,2021,34(5):1047-1053.
- [10] 谢育利,王吉平,苏天明,等.有机肥部分替代化肥对生菜生长及土壤环境的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2022,44(5):41-49.
- [11] 张静,连炳瑞,金亚茹,等.不同施肥处理对生菜产量、品质和经济效益的影响[J].中国瓜菜,2023,36(10):91-95.
- [12] 王立辉,何志学,李静,等.生物有机肥配施微生物菌剂对蒜苗生长、生理、产量及品质的影响[J].甘肃农业大学学报,2023,58(5):63-70.
- [13] 翟稳熙.微生物菌剂在菜用甘薯上施用效果研究[D].河北秦皇岛:河北科技师范学院,2023.
- [14] 曹巍,高惠嫣,王鑫鑫,等.不同配施肥措施对滨海盐碱地大豆生长和产量的影响[J].江苏农业科学,2023,51(22):53-60.
- [15] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [17] 曹清河,魏猛,唐君,等.菜用型甘薯多酚含量的测定及其基因型差异[J].江西农业学报,2013,25(4):24-26.
- [18] 马海霞,何璐,杨富茗.紫外分光光度法测定鱼胆草中总黄酮含量[J].安徽农业科学,2015,43(17):93-94.
- [19] 刘桂玲,李海霞,郭宾会,等.不同提取方法对甘薯花青素含量测定的影响[J].中国农学通报,2007,23(4):91-94.
- [20] 魏猛,张爱君,诸葛玉平,等.长期施肥下甘薯产量稳定性及品质特性研究[J].西北农业学报,2017,26(4):588-595.
- [21] 李馨园,王守义,王淑荣,等.根瘤菌配施胶质类芽孢杆菌对大豆叶绿素荧光特性、产量及品质的影响[J].大豆科学,2014,33(4):541-544.
- [22] 蒯佳琳,马彦霞,侯栋,等.稳定性肥料配施微生物菌剂对莴笋生长及品质的影响研究[J].干旱地区农业研究,2021,39(2):24-30.
- [23] 徐大兵,赵书军,袁家富,等.有机肥替代化肥对叶菜产量品质和土壤氮淋失的影响[J].农业工程学报,2018,34(增刊1):13-18.
- [24] 冀玉良.降低蔬菜体内硝酸盐污染的配合施肥技术研究[J].安徽农业科学,2006,34(5):947.
- [25] 王朋,刘丹,梁文举.微生物肥料对绿色食品蔬菜品质的影响[J].农业环境保护,2002,21(6):562-563.
- [26] 李卫东,陈永波,黄光昱,等.生物有机肥和微生物菌剂对马铃薯产量和品质的影响[J].湖北农业科学,2013,52(19):4597-4600.
- [27] 段文学,张海燕,解备涛,等.化肥和生物有机肥配施对鲜食型甘薯块根产量、品质及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2021,27(11):1971-1980.
- [28] 李敏,刘亚军,王文静,等.无机肥与有机肥配施对甘薯生理特性及产量构成因素的影响[J].江苏农业科学,2023,51(16):91-98.
- [29] 任守才,王锋.影响茎叶菜用甘薯品质的因素及防控措施[J].北方园艺,2014(4):51-53.
- [30] SINDELA J J, MILKOWSKI A L. Human safety controversies surrounding nitrate and nitrite in the diet[J]. Nitric Oxide-Biology and Chemistry, 2012, 26(4):259-266.
- [31] 杨志刚,胡栓红,常海文,等.氮肥减施、增施有机肥及微生物菌肥对辣椒生长性状、营养品质及产量的影响[J].北方农业学报,2020,48(2):27-33.
- [32] 王丹丹.有机肥与氮素化肥配施对叶类蔬菜硝酸盐累积的影响研究[J].中国农业文摘-农业工程,2024,36(1):3-6.
- [33] 吴瑕,周浩楠,刘德阳,等.有机肥与生物炭对小白菜光合作用及硝酸盐积累的影响[J].沈阳农业大学学报,2023,54(4):403-412.