

黄浆水-鲍鱼内脏有机肥对木耳菜生长及土壤的影响

吴 敏, 纪梦雅, 陈艺雯, 张捷凯, 章 骞, 翁 凌, 曹敏杰

(集美大学海洋食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为探究化肥减量结合有机肥配施对蔬菜生长及土壤的影响, 以木耳菜 (*Basella alba* L.) 为研究对象, 开展黄浆水-鲍鱼内脏有机肥部分替代尿素的田间实验。设置4个不同比例 (对照 (CK)、20%替代 (SW-20)、40%替代 (SW-40) 和60%替代 (SW-60)) 有机肥氮替代尿素氮处理。结果表明: 与CK组相比, SW-40处理组对木耳菜的整体生长发育效果最好, 株高、根长、叶片数、叶面积、鲜质量和干质量等分别提高8.71%、30.82%、30.29%、36.96%、46.10%、37.67%, L^* 值 (亮度)、 a^* 值 (黄青色度)、叶绿素、类胡萝卜素、抗坏血酸、总酚、类黄酮、可溶性糖和可溶性蛋白质含量分别提高4.05%、6.05%、12.26%、2.92%、9.80%、6.73%、6.43%、24.07%、3.15%; SW-60处理组的土壤电导率降低42.33%, 有机质和碱解氮含量分别提高23.25%、13.33%。可见, 黄浆水-鲍鱼内脏有机肥能够有效促进木耳菜的生长发育, 改善土壤质量。同时, SW-40处理对木耳菜生长效果最佳, SW-60处理对土壤肥力提高最有效。

[关键词] 黄浆水; 鲍鱼内脏; 有机肥; 木耳菜; 生长发育

[中图分类号] S 636.9

Effects of Soybean Whey Wastewater-Abalone Viscera Organic Fertilizer on the Growth and Soil of Malabar Spinach

WU Min, JI Mengya, CHEN Yiwen, ZHANG Jiekai, ZHANG Qian, WENG Ling, CAO Minjie

(College of Ocean Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to explore the effects of chemical fertilizer reduction and organic fertilizer application on the growth of malabar spinach *Basella alba* L. and soil property, a field experiment was conducted to replace urea with soybean whey wastewater-abalone viscera organic fertilizer (SWWAVF). Four different proportions of organic nitrogen, control (CK), 20% replacement (SW-20), 40% replacement (SW-40) and 60% replacement (SW-60) were set up to replace urea nitrogen. The results showed that compared with CK, the SW-40 treatment showed the best effect on the overall growth and development of malabar spinach, and plant height, root length, number of leaves, leaf area, fresh weight and dry weight increased by 8.71%, 30.82%, 30.29%, 36.96%, 46.10% and 37.67%, respectively. Meanwhile, the indexes of L^* value, a^* value, the contents of chlorophyll, carotenoid, ascorbic acid, total phenol, flavonoid, soluble sugar and soluble protein increased by 4.05%, 6.05%, 12.26%, 2.92%, 9.80%, 6.73%, 6.43%, 24.07% and 3.15%, respectively. Compared with CK, the soil electrical conductivity of the SW-60 treatment decreased by 42.33%, while the contents of organic matter and alkali-hydrolyzed nitrogen increased by 23.25% and 13.33%, respectively. The results indicated that application of SWWAVF effectively promote the growth and development of malabar

[收稿日期] 2024-03-26

[基金项目] 国家现代农业产业技术体系贝类岗位科学家项目“贝类副产物综合利用”(CARS-49)

[作者简介] 通信作者: 曹敏杰 (1964—), 教授, 博士, 从事水产品深加工研究。E-mail: mjcao@jmu.edu.cn

http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb

spinach and improve soil quality. The SW-40 treatment had the best effect on the growth of malabar spinach, and the SW-60 treatment could effectively improve the soil fertility.

Keywords: soybean whey wastewater; abalone viscera; organic fertilizer; replacement; malabar spinach *Basellaalba L.*; growth and development

0 引言

随着我国食品加工业的快速发展,食品加工副产物也不断增加,如何高效利用这些副产物的研究显得十分有必要。黄浆水是豆制品加工企业在豆腐制作过程中产生的废水^[1],它富含多糖、蛋白质、氨基酸和类黄酮等成分^[2]。目前,我国豆制品加工企业尚未对黄浆水进行有效利用,虽有研究将黄浆水加工成酱油或提取活性物质等^[3-4],但大多数企业都是将其输送至污水厂进行处理,或直接排放,造成资源浪费和环境污染等问题。

鲍鱼(*Haliotis*)是一种经济价值较高的海洋腹足类动物,鲍鱼在加工过程中会进行去壳和去内脏处理^[5]。鲍鱼内脏约占鲍鱼质量的 15%~25%,其中,鲍鱼内脏含有丰富的蛋白质和多糖等营养成分^[6]。有研究人员对鲍鱼内脏做了蛋白质和多糖提取的资源化开发利用尝试^[7-8],但仍未有产品面世,大多数鲍鱼生产企业都是将其内脏作为废物而丢弃。因此,合理处理和利用食品加工副产物,不仅能够降低生产成本,还能解决环境污染、资源浪费等问题,提高食品加工副产物的综合利用价值。

施肥是农业生产的重要手段,但不合理施肥会造成作物减产和环境污染等问题,导致作物品质下降、土壤退化和环境氮负荷增加,最终威胁生态环境和人类健康^[9-10]。近年来,国家高度重视化肥减量增效,不断加大有机肥替代化肥配施的力度,改良土壤。与化肥相比,有机肥养分高、肥效长,易被农作物吸收,可提高作物品质和抗病力;有机肥在土壤中能够增加土壤养分,提高土壤微生物活性,促进物质转化^[11]。合理减氮并用有机氮替代无机氮,可以减轻化肥过量施用对环境造成的负面影响,促进农业的绿色可持续发展^[12]。因此,为了高效利用食品加工副产物,本文将黄浆水与鲍鱼内脏混合,通过酶解技术制备黄浆水-鲍鱼内脏有机肥(soybean whey wastewater-abalone viscera organic fertilizer, SWWAVF),并以木耳菜为研究对象,探讨 SWWAVF 部分替代尿素对木耳菜产量、品质及土壤理化性质的影响,对比不同配施比例追肥的效果,并对肥料的肥效做出评价,为黄浆水及鲍鱼内脏的资源化利用提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试品种为大叶木耳菜(*Basella alba L.*),购自株洲市农之子种业有限公司;尿素($w(N) \geq 46\%$)购自山东光溯农业科技有限公司;黄浆水取自厦门银祥集团有限公司;鲍鱼内脏由福州源丰海洋科技有限公司提供。

1.2 实验仪器

UB-7 型 pH 计,瑞士 Mettler Toledo 公司;Multi 3620 IDS SETG 型电位仪,德国 WTW 公司;MA35 型水分测定仪,德国 Sartorius 公司;HPLC 1260 型高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司;NR60CP 型色差仪,深圳三恩时有限公司;ATN-300 型自动凯氏定氮仪,上海洪纪仪器设备有限公司;Lambda35 型紫外可见分光光度计,美国 Perkin Elmer 公司;Infinite M200 Pro 型多功能酶标仪,瑞士 Tecan 公司;TAS-986 型原子吸收分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;G:BOX 型凝胶成像仪,英国 Syngene 公司。

1.3 实验地概况及田间实验设计

实验地位于厦门市集美区后溪镇二农社区(24°39'7" N, 118°1'17" E),该地属于亚热带季风气候,年平均气温为 22.3℃,年平均降雨量为 1 167 mm。实验地土壤为黄粘土,土壤肥力较差。初始土

壤 pH=6.22±0.09，电导率为（111.37±9.03）μs/cm，有机质质量含量为（25.80±3.94）mg/g，碱解氮质量比为（207.67±14.57）μg/g。

实验地分为 4 块区域，每块区域面积为 3.22 m²（2.3 m × 1.4 m）。按照黄浆水-鲍鱼内脏有机肥料（SWWAVF）和尿素的不同氮配施比例设置 4 个处理组，分别为对照组（CK）、20% 替代组（SW-20）、40% 替代组（SW-40）和 60% 替代组（SW-60）。播种方式为点播（40 株/块），出苗 5 d 后开始追肥，出苗 10 d 后间苗，其间定期浇水除草。用尿素与 SWWAVF 进行追肥，7 d 一次，共 4 次。各处理组废料施用量如表 1 所示。

木耳菜于 2023 年 09 月 09 日翻地播种，2023 年 09 月 26 日、10 月 05 日、10 月 13 日、10 月 18 日施肥，2023 年 10 月 24 日采收。

1.4 SWWAVF 的制备

按 $m:V=1:3$ 的比例分别加入捣碎的鲍鱼内脏和黄浆水至容器中，调节 pH=8.0。加入质量分数为 0.3% 碱性蛋白酶，在 50℃ 下保温 90 min，水解结束后，使用 0.15 mm 筛网过滤，收集滤液得到有机肥料。

1.5 实验方法

1.5.1 理化指标的测定

使用 pH 计测定 pH 值；使用电位仪测定总溶解性固体含量；使用水分测定仪测定含水率；参考 QB/T 4356—2012 使用高效液相色谱仪测定游离氨基酸含量；参考 GB 5009.5—2016 测定总氮含量；参考 GB 5009.87—2016 测定总钾含量；参考 GB 5009.33—2016 测定总磷含量；通过十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳（SDS-PAGE）分析蛋白质变化。

1.5.2 蔬菜样品采集及指标测定

1) 样品采集及生长特性测定。将成熟的木耳菜连根拔起，及时带回实验室，去除附着在植物上的泥土杂质，清水洗净，每组挑选 10 株大小较为均一的木耳菜作为指标测定的样品。采用方格法（1 cm × 1 cm）测定叶面积；采用称重法测定鲜质量和干质量（105℃ 烘干法）；使用直尺和游标卡尺测量地上株高、总株高、叶长、叶宽、叶厚和根茎粗，并计算叶片数和叶茎比。

2) 色差分析。先对色差仪进行白板校正与黑板校正，然后选定程序对叶片左上、左下和正右位置进行测定，利用色差仪测量 L^* 值（亮度）、 a^* 值（红绿色度）和 b^* 值（黄青色度）。

3) 生化指标测定。参考曹建康等^[13]的方法，以 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定抗坏血酸含量，考马斯亮蓝比色法测定可溶性蛋白质含量，蒽酮试剂法测定可溶性糖含量，紫外分光光度法测定总酚和类黄酮含量；参考高俊凤^[14]的紫外分光光度法测定叶绿素及类胡萝卜素含量；参考 GB 5009.33—2016 测定硝酸盐含量。

1.5.3 土壤样品采集及指标测定

采用 S 型抽样方法进行土壤样品的采集。去除表层泥土后，用土壤采样器采集 6~20 cm 深的土层样品，放入样品袋中。土壤样品运到实验室后，放置在阴凉干燥处进行自然空气干燥。

风干土筛后即对土壤基本理化指标进行分析。采用电位法测定土壤 pH 值和电导率；采用鲍士旦^[15]的重铬酸钾体积法（稀释热法）和碱水解氮扩散法测定土壤的有机质和碱解氮含量。

1.6 数据处理

所有实验数据均利用 Excel 2019 进行整理，应用 SPSS 22.0 进行单因素方差分析及最小显著差异性检验（Duncan’s 新复极差法， $P<0.05$ ），采用 Adobe illustrator 2021 和 Origin 2021 进行图表绘制。

表 1 肥料施用量实验设计
Tab. 1 Experimental design for fertilizer application

组别	SWWAVF 施用量/ (L · m ⁻²)	尿素施用量/ (g · m ⁻²)
对照(CK)	0	50
20% 替代(SW-20)	0.63	40
40% 替代(SW-40)	1.26	30
60% 替代(SW-60)	1.89	20

2 实验结果及分析

2.1 SWWAVF 理化性质及成分分析

2.1.1 理化性质

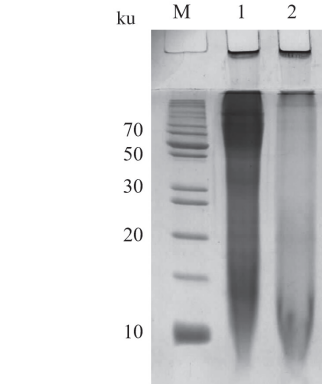
由表2可知,SWWAVF的 $\text{pH}=7.5\pm0.1$,总溶解性固体质量浓度为 $(12.13\pm0.12)\text{ g/L}$,游离氨基酸质量浓度为 $(6.14\pm0.53)\text{ g/L}$,氮磷钾总质量浓度为 $8\,203.84\text{ mg/L}$,这说明SWWAVF中含有植物生长所需的丰富养分。

2.1.2 成分分析

SWWAVF由黄浆水和鲍鱼内脏组成,蛋白质成分复杂,高分子质量蛋白质比例较高。为了使植物更好地吸收养分,需对原料进行酶解。由图1可以看出,经过碱性蛋白酶水解后,SWWAVF的大分子蛋白质基本被降解完全,只有10 ku左右有少量残余,表明蛋白质已经大部分被水解成相对分子质量小于10 ku的多肽或氨基酸,有利于植物吸收和利用。

表2 SWWAVF 成分
Tab.2 The components of SWWAVF

指标	SWWAVF
pH	7.5 ± 0.1
w(水分)/%	91.37 ± 0.38
ρ(总溶解性固体)/(g · L ⁻¹)	12.13 ± 0.12
ρ(氮)/(mg · L ⁻¹)	7 280.00 ± 19.49
ρ(磷)/(mg · L ⁻¹)	846.63 ± 31.15
ρ(钾)/(mg · L ⁻¹)	77.21 ± 2.58
ρ(游离氨基酸)/(g · L ⁻¹)	6.14 ± 0.53



说明: M—标准蛋白; 1—水解前; 2—水解后
图1 SWWAVF 水解前后的 SDS-PAGE 分析
Fig.1 SDS-PAGE analysis of SWWAVF products before and after hydrolysis

2.2 不同施肥处理对木耳菜生长品质的影响

2.2.1 生长特性

通过测量木耳菜的株高、根长、茎粗、叶面积、叶片数、叶长、叶宽、叶厚、鲜质量和干质量,分析不同处理对植株生长的影响,结果如表3所示。可见,与CK组相比,在SW-40处理下,木耳菜长势整体最佳,木耳菜的根长、单株叶片数、茎粗、叶面积和鲜质量达到最大值,分别比CK组提高30.82%、30.29%、7.16%、36.96、46.10% ($P<0.05$);在SW-20处理下,木耳菜株高、叶宽和干质量达到最大值,分别比CK组提高14.40%、9.24%、38.08% ($P<0.05$);SW-20与SW-40处理组在生长特性上无显著性差异 ($P<0.05$);在SW-60处理下,木耳菜长势最差,除根长、叶宽、叶面积与其他处理组无显著性差异外,其余各项指标均显著低于其他各处理组 ($P<0.05$)。这说明,配施一定比例的SWWAVF能够有效促进木耳菜的生长,但过高的配施比例会降低施肥效果,从而延缓木耳菜的生长速度。其原因可能是,与低分子质量尿素相比,有机肥养分释放速度较慢,一定程度上影响了氮素转化利用率,从而导致作物缺乏快速生长期所需的养分。

一定配比的尿素与SWWAVF能够将肥效发挥到最佳。与CK组相比,配施SWWAVF能够有效促进木耳菜整株生长,增加木耳菜植株鲜质量,使植株长得更高(见图2)。

2.2.2 色差

经过不同比例的有机肥配施后,木耳菜的 L^* 、 a^* 和 b^* 值均有所提高,结果如表4所示。可见,从配施比例来看, L^* 值和 a^* 值在SW-40处理组达到极值,分别比CK组提高4.03%、6.06% ($P<0.05$);同时, b^* 值在所有处理组间无显著性差异。综合分析可知,SW-40处理组的叶色最亮、最绿。

表 3 不同施肥处理对木耳菜生长特性的影响

Tab.3 Effects of different fertilization treatments on growth of malabar spinach

指标	组别			
	CK	SW-20	SW-40	SW-60
株高/cm	24. 10 ± 2. 73 ^{bc}	27. 57 ± 3. 66 ^a	26. 20 ± 2. 78 ^{ab}	22. 59 ± 2. 12 ^c
根长/cm	16. 03 ± 1. 79 ^b	20. 67 ± 2. 13 ^a	20. 97 ± 1. 80 ^a	16. 27 ± 0. 94 ^b
叶片数	20. 80 ± 5. 31 ^b	26. 80 ± 6. 2 ^a	27. 10 ± 4. 12 ^a	20. 60 ± 2. 99 ^b
叶长/cm	16. 37 ± 1. 38 ^{ab}	17. 06 ± 1. 57 ^{ab}	17. 65 ± 1. 80 ^a	15. 88 ± 1. 04 ^b
叶宽/cm	13. 31 ± 0. 93 ^b	14. 54 ± 1. 82 ^a	14. 46 ± 0. 99 ^{ab}	13. 60 ± 1. 35 ^{ab}
叶厚/mm	0. 67 ± 0. 07 ^{ab}	0. 71 ± 0. 06 ^a	0. 72 ± 0. 07 ^a	0. 64 ± 0. 05 ^b
茎粗/mm	12. 01 ± 0. 91 ^{bc}	12. 74 ± 0. 94 ^{ab}	12. 87 ± 1. 14 ^a	11. 68 ± 0. 49 ^c
叶面积/cm ²	156. 40 ± 15. 78 ^b	209. 60 ± 11. 21 ^a	214. 20 ± 12. 65 ^a	162. 80 ± 14. 86 ^b
鲜质量/g	106. 14 ± 18. 15 ^b	154. 41 ± 21. 15 ^a	155. 07 ± 17. 13 ^a	88. 61 ± 18. 65 ^c
干质量/g	7. 30 ± 0. 49 ^b	10. 08 ± 0. 46 ^a	10. 05 ± 0. 24 ^a	6. 24 ± 0. 80 ^c

说明：表中同一指标右上角不同小写字母表示显著差异（*P* < 0.05），下同。



图 2 不同施肥处理的木耳菜生长情况

Fig.2 Growth of malabar spinach with different fertilization treatments

表 4 不同施肥处理对木耳菜色差的影响

Tab.4 Effects of different fertilization treatments on color differences of malabar spinach

指标	组别			
	CK	SW-20	SW-40	SW-60
<i>L</i> *	38. 43 ± 1. 17 ^b	39. 19 ± 1. 17 ^{ab}	39. 98 ± 1. 28 ^a	38. 82 ± 1. 56 ^b
<i>a</i> *	- 13. 20 ± 0. 45 ^b	- 13. 92 ± 0. 75 ^a	- 14. 00 ± 0. 25 ^a	- 13. 46 ± 0. 44 ^b
<i>b</i> *	32. 87 ± 2. 11	34. 24 ± 2. 66	34. 50 ± 2. 41	32. 87 ± 1. 60

2.2.3 叶片色素

在不同施肥处理下,施用SWWAVF后,叶绿素含量均有不同程度的上升(见图3a),说明SWWAVF的施用能够促进木耳菜叶绿素的产生,提高光合作用的速率。SW-20处理组的叶绿素a和总叶绿素含量最高,分别达到 (0.1873 ± 0.0108) 、 (0.2322 ± 0.0115) mg/g,比CK组分别提高15.47%、13.05% ($P < 0.05$)。SW-40处理在提高木耳菜叶片叶绿素含量方面也有良好的效果,叶绿素b含量在SW-40处理时最高,比CK组提高15.74% ($P < 0.05$)。此外,与CK组相比,配施SWWAVF后,木耳菜的类胡萝卜素含量整体也呈上升趋势(见图3b)。其中,SW-60处理组的类胡萝卜素含量达到最大值,比CK组提高了5.21%,存在显著性差异 ($P < 0.05$),但SW-20、SW-40处理组与CK组无显著性差异。以上结果表明,适当比例的SWWAVF施用可以对木耳菜叶片光合色素的合成起到促进作用,从而提高植物的光利用效率。

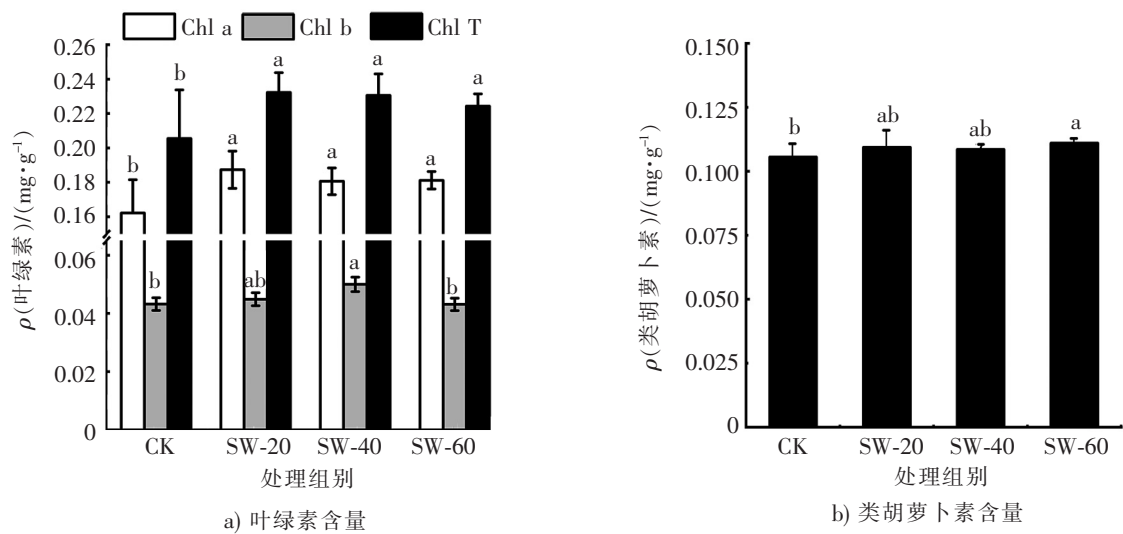


图3 不同施肥处理对木耳菜叶片色素含量的影响

Fig.3 Effects of different fertilization treatments on the pigment contents of malabar spinach leaves

说明:柱状图上方不同小写字母表示显著差异($P < 0.05$),下同。

2.2.4 成分分析

植物中存在抗坏血酸、类黄酮类及酚类等次生代谢产物,它们是重要的天然抗氧化物,也是评价作物抗氧化能力的重要指标。如图4a所示,配施SWWAVF的SW-20、SW-40和SW-60处理对木耳菜的抗坏血酸含量总体有积极的影响。在单施尿素时(CK组),木耳菜植株抗坏血酸质量浓度为 (0.4929 ± 0.0087) mg/g,而施用SWWAVF后,SW-20、SW-40和SW-60处理组的抗坏血酸含量分别比CK组增加了10.34%、9.80%、4.05%。总酚含量变化趋势与抗坏血酸含量变化相似(见图4b),均是SW-20处理组的含量最高,其次为SW-40和SW-60处理组的,SW-20、SW-40、SW-60处理组的总酚含量分别比CK组提高了10.90%、6.71%、5.37% ($P < 0.05$)。同时,由图4c可见,配施SWWAVF后,SW-20、SW-40、SW-60处理组的类黄酮含量分别比CK组提高了12.13%、6.42%、9.43% ($P < 0.05$)。

由图4d可见,高比例配施SWWAVF对木耳菜植株的可溶性糖含量有显著影响,SW-40和SW-60处理组的可溶性糖含量分别比CK组增加了24.05%、20.22%,但SW-20处理组与CK组却无显著性差异 ($P < 0.05$)。同时,与CK组相比,配施SWWAVF后的处理组可溶性蛋白质含量也均有不同程度的上升,其中SW-60处理组提升了11.75%(图4e)。而施用SWWAVF后,SW-20、SW-40和SW-60处理组中的硝酸盐含量却分别比CK组降低了5.45%、5.79%、10.70% ($P < 0.05$)(见图4f)。

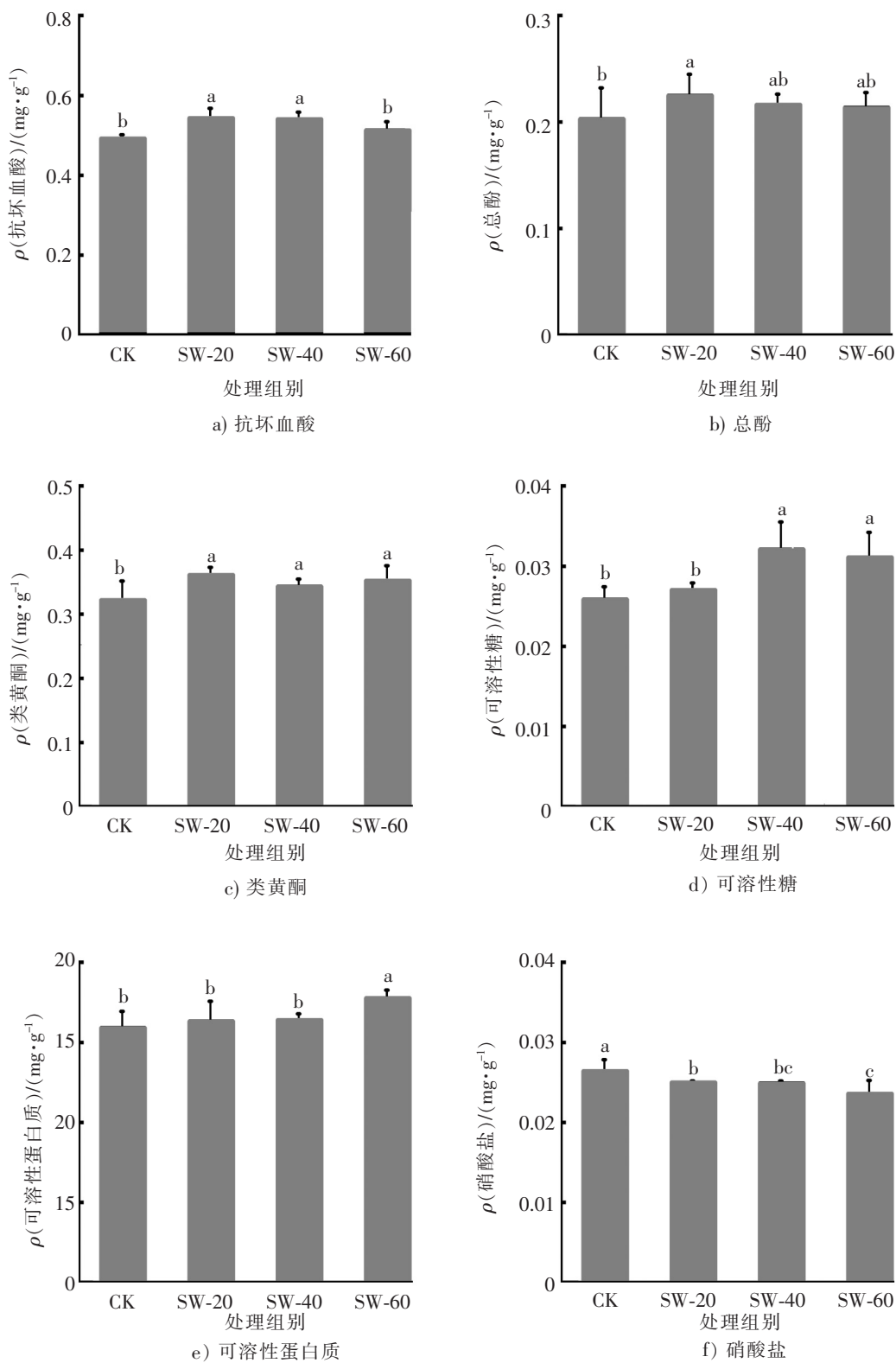


图 4 不同施肥处理对木耳菜抗坏血酸、总酚、类黄酮、可溶性糖、可溶性蛋白质和硝酸盐含量的影响

Fig.4 Effects of different fertilization treatments on the contents of ascorbic acid,total phenol, flavonoid,soluble sugar,soluble protein and nitrate in malabar spinach

2.3 不同施肥处理对土壤理化性质的影响

由图 5a 可见, 木耳菜收获后, 与初始 pH 值 (6.22 ± 0.09) 相比, 所有处理组的采后土壤 pH 值均出现了不同程度的下降, 但所有处理组之间无显著性差异。由图 5b 可见, 随着施用 SWWAVF 比例的增加, 土壤电导率的下降程度越大, SW-20、SW-40、SW-60 处理组分别比 CK 组降低了 31.15%、34.62%、42.23% ($P < 0.05$)。由图 5c 可见, 随着有机肥配施比例的不断增加, 土壤有机质含量也不断上升, 与 CK 组均有显著性差异 ($P < 0.05$)。由图 5d 可见, 所有处理组的土壤碱解氮含量均高于实验前的, 且变化趋势与有机质含量变化相似, 均随着 SWWAVF 替代比例的增加而增加, SW-60 处理组达到最大值 (0.238 ± 0.012 12) mg/g ($P < 0.05$)。

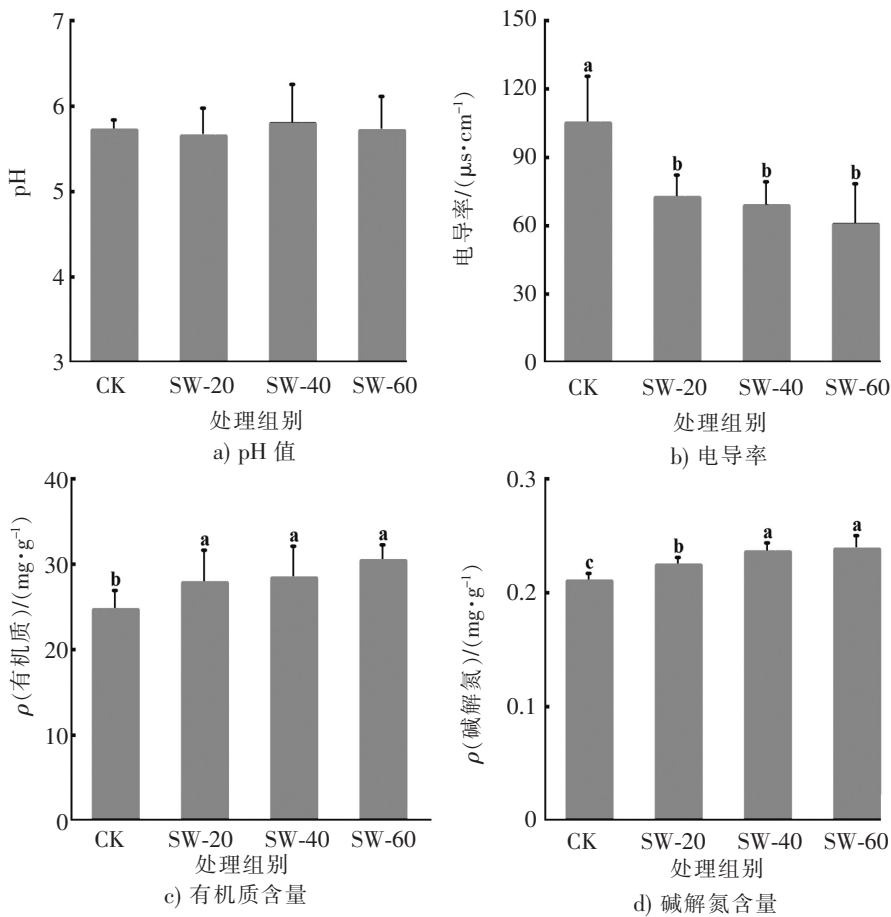


图 5 不同施肥处理对土壤 pH 值、电导率、有机质含量和碱解氮含量的影响
Fig.5 Effects of different fertilization treatments on soil pH,electric conductivity, organic matter content and alkali-hydrolyzed nitrogen content

3 讨论

在本研究中, 一定比例 SWWAVF 替代尿素可显著促进木耳菜生长发育, 其中 SW-40 组木耳菜的株高、叶面积和株重等生长参数均有不同程度的改善。武星魁等^[16]对叶菜的研究表明, 有机肥料替代化肥的氮替代比例在 25% 左右时, 包心菜和小青菜的产量增加最显著, 这与本文的结果相似。叶绿素和类胡萝卜素是植物在光合作用过程中吸收光能的主要物质, 其中, 叶绿素在光的吸收、传递和转化方面发挥着重要作用, 是衡量叶片生长的重要指标^[17]; 类胡萝卜素作为植物激素的前体物, 能够调节植物生长发育和代谢, 对机体健康有促进作用^[18]。有研究指出, 化肥与有机肥料配施能够增强植株光合作用, 促进叶片增大, 进而促进叶片色素的积累^[19]。本研究结果表明, 尿素与SWWAVF

一定比例的施用能够促进木耳菜叶绿素和类胡萝卜素的积累,这可能是因为氨基酸或多肽等小分子营养物质能够直接被植株吸收,进而提高植株叶片细胞对二氧化碳的吸收利用水平,促进叶片光合作用,从而加速叶片色素的合成^[20]。

植物中大量存在的抗坏血酸、类黄酮类和酚类等次生代谢产物是重要的天然抗氧化物,也是评价作物抗氧化能力的重要指标^[21]。抗坏血酸具有提高机体免疫力和抵抗力的作用,能够降低患病的风险^[22]。类黄酮和总酚作为天然植物成分,具有抗氧化和清除自由基的能力^[23]。在本研究中,配施 SWWAVF 后的木耳菜,其抗坏血酸、类黄酮和总酚含量均有不同程度的上升,这可能是因为叶片光合作用的增强,提高了叶片中抗氧化酶(SOD、POD、CAT)的活性,延缓了叶片衰老,使其保持较高的抗氧化活性^[24]。有研究表明,化肥减量并配施有机肥料能够促进植株的生长,增加可溶性固形物含量^[25]。在本研究中,施用 SWWAVF 后,木耳菜植株的可溶性蛋白质和可溶性糖均有不同程度提高,这可能是因为肥料中含有的微量元素、氨基酸和多肽等成分促进了植物的养分吸收,提高了植株对水溶性物质的富集能力^[26]。

化肥是促进农作物增产增收常用的肥料,但不合理施用化肥,不仅会降低其利用效率,还容易导致土壤退化,制约农业发展^[27]。有机肥料具有改良土壤的作用,能够降低土壤容重并提高孔隙度,利于水分淋洗土壤,与高盐度的化肥配施后能够降低土壤盐分,提高土壤肥力^[28]。土壤电导率能够侧面反映土壤中可溶性离子含量,间接反映土壤肥力的情况^[29]。在本研究中,配施 SWWAVF 的土壤电导率出现不同程度的下降,这与吕亮雨等^[30]所报道的结果一致,说明施用 SWWAVF 有利于减少盐分聚集,对减缓土壤次生盐渍化有一定积极作用。然而,配施 SWWAVF 的土壤 pH 值却出现下降,推测其原因是土壤微生物活动使有机肥中的低分子质量多肽进一步分解产生游离氨基酸^[31]。有机肥富含有机质、氮磷钾及其他多种矿物元素,能够为土壤补充养分并调节土壤酸碱性^[32]。在本研究中,配施 SWWAVF 后的土壤有机质和碱解氮含量均有所提高,这是因为其中含有的大量有机质,使得土壤微生物的活性得到提高,从而有利于有机物的分解转化,产生更多养分^[33]。

4 结论

将大豆黄浆水和鲍鱼内脏作为原料,经过酶解制备得到有机肥 SWWAVF,与尿素联合施用可促进木耳菜的生长发育,改善土壤质量。在氮替代比例上,40%替代(SW-40)对木耳菜生长效果最好,显著提升了木耳菜的长势,并提高了叶片色素、抗坏血酸、总酚、类黄酮、可溶性糖和可溶性蛋白质等的含量,降低了硝酸盐积累。同时,60%替代(SW-60)还可降低土壤电导率,提高有机质和碱解氮含量,对改善土壤质量效果最优。

[参考文献]

- [1] 于寒松,陈健,蔡蕾,等.大豆黄浆水的无害化处理及再利用研究进展[J].大豆科学,2023,42(4):473-480.
- [2] DAI Y Q,ZHOU J Z,WANG L X,et al. Biotransformation of soy whey into a novel functional beverage by *Cordyceps militaris* SN-18[J]. Food Production,Processing and Nutrition,2021,3(1):13.
- [3] ZHOU R Y,CHUA J Y,LIU S Q. Exploring the feasibility of biotransforming salted soy whey into a soy sauce-like condiment using wine yeast *Torulaspora delbrueckii* and soy sauce yeasts *Zygosaccharomyces rouxii* and *Candida versatilis* as single starter cultures[J]. Food Research International,2022,156:111350.
- [4] NIETO-VELOZA A,ZHONG Q,KIM W S,et al. Utilization of tofu processing wastewater as a source of the bioactive peptide lunasin[J]. Food Chemistry,2021,362:130220.
- [5] CHUNG W H,COOREY R,TAKECHI R,et al. Compositional and nutritional evaluation of viscera from commercially harvested wild-caught Australian abalones (*Haliotis* spp.) [J]. LWT,2024,191:115590.
- [6] ZHENG P S,HAO G X,WENG W Y,et al. Antioxidant activities of hydrolysates from abalone viscera using subcritical water-assisted enzymatic hydrolysis[J]. Food and Bioprocess Technology,2019,12(6):910-918.

- [7] WU W F, JIA J, WEN C R, et al. Optimization of ultrasound assisted extraction of abalone viscera protein and its effect on the iron-chelating activity[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 77: 105670.
- [8] GUO S, WANG J, HE C B, et al. Preparation and antioxidant activities of polysaccharides obtained from abalone viscera by combination of enzymolysis and multiple separation methods[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(12): 4260-4270.
- [9] 王妍, 丁希月, 翁凌, 等. 牡蛎壳土壤调理剂对土壤及黄地脐橙果实品质的改良效果[J]. *集美大学学报(自然科学版)*, 2023, 28(3): 214-221.
- [10] 万辰, 马瑛骏, 陈思玮, 等. 不同比例有机肥替代化肥对水稻氮磷利用率和稻田氮磷平衡的影响[J]. *江苏农业科学*, 2024, 52(1): 93-98.
- [11] 包蕾. 西瓜养分吸收特性及水肥精准管理研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2023.
- [12] LIU L Y, LI C Z, ZHU S H, et al. Combined application of organic and inorganic nitrogen fertilizers affects soil prokaryotic communities compositions[J]. *Agronomy*, 2020, 10(1): 132.
- [13] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2017.
- [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] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 武星魁, 姜振萃, 陆志新, 等. 有机肥部分替代化肥氮对叶菜产量和环境效应的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, 28(3): 349-356.
- [17] 于博, 张学芳, 徐松鹤, 等. 配方施肥对春玉米生长发育的影响[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(17): 10-16.
- [18] WANG Y, HAO Y J, ZHOU D D, et al. Differences in commercial quality and carotenoids profile of yellow-and white-fleshed nectarine fruit during low temperature storage and the regulation of carotenoids by sugar[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2023, 197: 112206.
- [19] 戈慧敏, 郭震宇. 甘氨酸与尿素配施对桃树光合作用、糖代谢及果实品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(12): 121-127.
- [20] 张妮, 程云霞, 张攀, 等. 氮肥减施与氨基酸肥料替代对制干辣椒生长、产量及品质的影响[J]. *中国瓜菜*, 2021, 34(11): 89-93.
- [21] 刘元林. 复合酶酶解牦牛血制备氨基酸液体肥的研究[D]. 兰州: 西北民族大学, 2021.
- [22] WANG Y, SONG G Y, LIANG D, et al. Comparison of ascorbate metabolism in fruits of two jujube species with differences in ascorbic acid content[J]. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2022, 63(5): 759-767.
- [23] MA Q P, SONG L C, NIU Z H, et al. Pea-tea intercropping improves tea quality through regulating amino acid metabolism and flavonoid biosynthesis[J]. *Foods*, 2022, 11(22): 3746.
- [24] 王劲松, 白歌, 张艳慧, 等. 长期不同施肥处理对高粱花后叶片衰老、抗氧化酶活性及产量的影响[J]. *作物学报*, 2023, 49(3): 845-855.
- [25] 李云飞, 王冰华, 王铁臣. 化肥减量配施鱼蛋白有机液肥对番茄产量和品质的影响[J]. *蔬菜*, 2024(1): 35-39.
- [26] 寇娟妮. 新型牛蒡根下脚料有机液肥的制备及其对番茄与甜瓜的肥效作用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [27] 张德楠, 张燕钊, 滕秋梅, 等. 化肥减量配施微生物菌肥对圣女果产量、品质及土壤肥力的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2023(10): 36-47.
- [28] 程煜, 乔若楠, 丁运韬, 等. 化肥减量和有机替代对重度盐渍土水盐特性及向日葵水氮利用效率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2021, 27(11): 1981-1992.
- [29] 孙喜军, 高莹, 周维涛, 等. 富活素改良剂对日光温室土壤农化性质及芹菜品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2023, 39(30): 82-86.
- [30] 吕亮雨, 樊光辉, 付全, 等. 生物有机肥对枸杞生长及土壤性状的影响[J]. *新疆农业科学*, 2023, 60(11): 2779-2789.
- [31] CHENG H Y, ZHANG D Q, HUANG B, et al. Organic fertilizer improves soil fertility and restores the bacterial community after 1,3-dichloropropene fumigation[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 738: 140345.
- [32] 陈凯威, 张仕彬, 徐凯, 等. 不同有机肥替代化肥比对井冈蜜橘品质和土壤养分及酶活性的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2023(12): 97-106.
- [33] 孙喜军, 高莹, 周维涛, 等. 富活素改良剂对日光温室土壤农化性质及芹菜品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2023, 39(30): 82-86.