

氮肥与木醋液协同作用对甘薯生长发育的影响

陈 伟, 王巍凝

(辽宁工程技术大学 环境科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要:为了给甘薯栽培中化肥减量增效提供技术支撑,达到甘薯栽培的高产高效,以辽薯28为供试材料进行大田试验,先在叶面喷施0.1%、0.2%、0.3%、0.4%木醋液,与叶面不喷施木醋液的对照组进行比较,找出最适木醋液浓度。在最适木醋液条件下,设置4个氮肥施用浓度(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%),每株5 mL,以叶面单独喷施氮肥为对照,调查田间甘薯生长发育情况及产量指标,分析氮肥与木醋液协同作用对甘薯生长发育的影响。结果表明,单一施肥时,氮肥处理最佳浓度为1.5%,木醋液处理最佳浓度为0.3%,且单一施加0.3%木醋液时,甘薯单株茎叶鲜质量、单株结薯数、鲜薯产量均高于CK,分别显著提高27.89%、41.17%、37.11%。当叶面喷施0.3%木醋液加1.5%氮肥(每株5 mL)时,田间甘薯生长发育情况及产量显著高于对照。其中,蔓长、茎粗、单株茎叶鲜质量分别比CK显著提高22.98%、25.66%、45.26%;鲜薯产量、干薯产量分别比CK显著提高41.05%、26.38%。综上,在甘薯定植后,每隔21 d叶面喷施0.3%木醋液加1.5%氮肥(每株5 mL),共5次可达到较佳的施肥效果。

关键词:氮肥;甘薯;木醋液;生长发育;产量

中图分类号:S531

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2024)05-0098-09

Effects of Synergistic Effect of Nitrogen Fertilizer and Wood Vinegar on Growth and Development of Sweet Potato

CHEN Wei, WANG Weining

(College of Environmental Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to provide technical support for the reduction and efficiency increase of chemical fertilizers in sweet potato cultivation and achieve high yield and high efficiency of sweet potato, in this study, field experiments were carried out with Liaoshu 28 sweet potato as the test material. The foliar spray of 0.1%, 0.2%, 0.3%, and 0.4% of wood vinegar was first applied to the foliar surface and compared with the control group without foliar wood vinegar to find out the optimal wood vinegar concentration. Under the optimal wood vinegar conditions, four nitrogen fertilizer application concentrations(0.5%, 1.0%, 1.5%, and 2.0%) at 5 ml per plant were set up, and the foliar nitrogen fertilizer spraying alone was used as the control(CK) to investigate the growth and development, and the yield indexes of sweet potato in the field, and the influence of the synergistic effect of nitrogen fertilizer and wood vinegar on the growth and development of sweet potato were analyzed. The results showed that the optimal concentration of nitrogen fertilizer treatment was 1.5% and the optimal concentration of wood vinegar treatment was 0.3% under single fertilization. When single application of 0.3% of wood vinegar was applied, the fresh weight of stems and leaves, the number of potatoes per plant and the yield of fresh potatoes were higher than those of CK, and were significantly increased by 27.89%, 41.17% and 37.11% respectively compared with CK. When foliar spray of 0.3% of wood vinegar and 1.5% of nitrogen fertilizer at 5 ml per plant, the growth, development, and yield of sweet potato in the field were significantly higher than those of the control. Among them, the vine length, stem diameter and fresh weight of stems and leaves per plant were significantly increased by 22.98%, 25.6%, and 45.26% compared with CK, respectively. The yield of fresh potato and dry potato was significantly increased by 41.05% and 26.38% respectively compared with CK. In summary, after sweet potato planting, foliar spraying of 0.3% of wood vinegar and 1.5% of nitrogen fertilizer every 21 days for a total of 5 times could achieve a better fertilization effect.

Key words: nitrogen fertilizer; sweet potato; wood vinegar solution; growth and development; yield

甘薯(*Ipomoea batatas*)是全球重要的粮食作物,在世界粮食生产中位列第7^[1]。近年来,我国甘薯种植总面积不断增加,现已经成为世界上最大的甘薯生产国^[2]。近年来,辽宁省甘薯种植规模不断扩

大,甘薯产量及品质逐步提升,现已实现甘薯公顷增产15 t的种植目标。传统的施肥方式会加剧农田环境恶化,进而降低作物产量和品质^[3],长此以往,将限制我国农业发展。因此,优化甘薯生产中

收稿日期:2023-12-29

作者简介:陈 伟(1999-),女,山西保德人,助理工程师,硕士,主要从事植物保护研究工作。

的施肥结构对促进农业可持续发展具有重要意义。

氮素是农业生产中获得高产的主要决定因子^[4]。研究表明,缺氮会导致农作物产量降低^[5],因此,目前我国甘薯生产中常投入大量氮肥^[6]。但前人研究发现,氮肥增施不一定有助于产量增加^[7],相反容易增加畸形薯发生的概率^[8],且在甘薯生产中,氮肥施加过量容易导致茎叶旺长、延迟结薯,最终使甘薯产量显著降低^[9-11]。适当投入氮肥才是使作物增产的有力措施^[12],且能提高作物中营养物质含量。

传统施肥方式中过量施加化肥,降低了作物的品质,同时带来严重的环境问题^[6]。近年来,农业部门推广使用有机肥替代部分化肥的技术,以达到化肥减量增效的目的,可提高叶绿素含量、光合性能,改善土壤状况,增加作物产量、提高品质^[13-14]。当前,这项技术在玉米、蔬菜等作物栽培中均已应用,但在甘薯种植中尚不普及。

木醋液是生物质热解制炭产生的副产物,具有原料广泛、无污染、制作成本低的特点^[15]。其中含有数百种有机物质^[16],能改变植物激素代谢,影响酶系统,进而对植物生长进行调节^[17],增加产量^[18-19]。在作物生产中,木醋液可与化肥混施,达到改良土壤、增产增收、防治病虫害的目的^[20-22]。胡世龙等^[23]研究发现,低氮条件下喷施木醋液可显著提高水稻产量及品质。目前,氮肥和木醋液协同作用对甘薯影响的报道甚少,且大多集中在对产量影响的研究上,对生长发育指标影响的研究少有涉及。

本试验设置不同氮肥、木醋液浓度处理,探究有机肥部分替代氮肥对甘薯生长发育和产量的影响,获得叶面喷施木醋液和氮肥协同对甘薯生长发育和产量的最佳配比,旨在为甘薯合理施肥、优质种植提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于2020年在辽宁省抚顺市望花区沈阳工学院学生大田实验基地(123°55'E,41°52')进行。抚顺市地处中温带东亚大陆季风气候区,无霜期151 d。试验期间降雨充沛、无极端恶劣天气。土壤为棕壤土,土壤pH值为6.58,有机质含量为3.02%,全氮含量为0.17%,全磷含量为0.066%,全钾含量为1.51%。

1.2 试验材料

供试甘薯为辽宁省广泛种植的辽薯28,由辽宁省农业科学院作物所选育。叶面喷施的氮肥为尿素,含氮量为46.3%;木醋液由玉米秸秆等农业废

弃物在制备生物质炭过程中冷凝产生,均由辽宁天隆种业科技有限公司生产。

1.3 试验设计

试验甘薯采用大田种植,木醋液、氮肥均叶面喷施。试验共设12个处理及1个对照(表1)。其中,N1、N2、N3、N4处理仅叶面喷施氮肥,浓度分别为0.5%、1.0%、1.5%、2.0%;M1、M2、M3、M4处理仅叶面喷施木醋液,浓度分别为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%;N1+M~N4+M处理为不同浓度叶面氮肥与最适木醋液混合喷施;对照组叶面不喷施氮肥或木醋液。每个处理5次重复,共65个小区。小区面积5.04 m²,每小区6垄,每垄3株,单垄单行,行距60 cm,株距30 cm,外层设有保护行。试验甘薯4月21日栽插,8月7日收获,共种植110 d,包括还苗返青期、分枝结薯期、薯蔓同长期、成熟期等4个栽种周期,采取水平扦插法移栽薯苗,种植7 d后每隔21 d叶面喷施木醋液、氮肥、蒸馏水,共喷5次。

1.4 测定项目及方法

在甘薯成熟期,选择连续晴朗天气测定甘薯蔓长、茎粗、叶面积指数、叶绿素含量、可溶性糖含量、淀粉含量、单株茎叶鲜质量。于9:00—11:00选取无遮阴的健康叶片用SPAD-502叶绿素测定仪测定叶绿素含量。同时采集叶片带回实验室,测定叶片的可溶性糖含量、淀粉含量,均采用蒽酮比色法,用分光光度计在620 nm波长下进行比色^[23],得到吸光度。根据文献[24]方法计算可溶性糖含量。

在甘薯成熟期,测定单株结薯数,以每株甘薯收获期的平均产量,计算单株鲜薯质量,以甘薯总产量计算鲜薯质量,烘干后计算甘薯质量。

1.5 数据分析

试验数据整理使用Excel 2023,采用SPSS 27.0软件对不同处理下甘薯生长发育及产量指标进行方差分析。

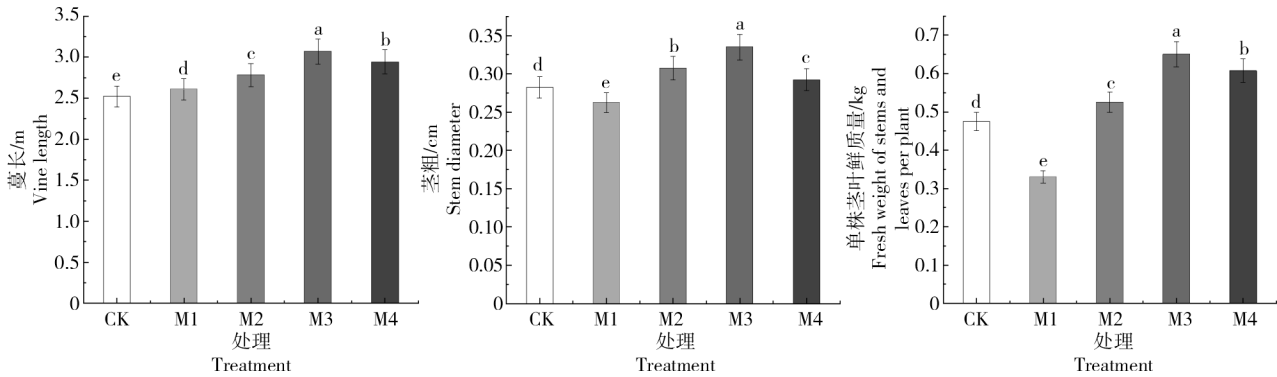
2 结果与分析

2.1 叶面喷施木醋液对甘薯生长发育和产量的影响

2.1.1 叶面喷施木醋液对甘薯生长发育的影响 由图1可知,叶面喷施木醋液后甘薯蔓长、茎粗、单株茎叶鲜质量总体上处于增长趋势。甘薯蔓长、茎粗及单株茎叶鲜质量整体上均随木醋液浓度增加呈先增加后降低的趋势。其中,M3处理的蔓长、茎粗、单株茎叶鲜质量最大,分别比CK显著提高

21.75%、18.58%、27.89% ($P < 0.05$)。各木醋液处理的蔓长均显著高于 CK, 而对于茎粗、单株茎叶鲜

质量而言, M1 处理低于 CK, 其他处理则显著高于 CK ($P < 0.05$)。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下图同
Different lowercase letters in the figure indicate significant differences ($P < 0.05$). The same as below

图 1 不同浓度木醋液处理下甘薯蔓长、茎粗、单株茎叶鲜质量比较
Fig.1 Comparison of vine length, stem diameter, and fresh weight of stems and leaves per plant of sweet potato under different concentrations of wood vinegar treatments

由图 2 可知, 叶面喷施木醋液后甘薯叶面积指数、叶绿素含量总体上处于增长趋势。随木醋液浓度增加, 甘薯叶面积指数、叶绿素含量均呈先增加后降低的趋势; M3 处理的叶面积指数、叶绿素含量

最大, 分别比 CK 显著提高 15.79%、19.75% ($P < 0.05$)。其中, M1 处理的叶面积指数、叶绿素含量低于 CK, 其他处理则显著高于 CK ($P < 0.05$)。

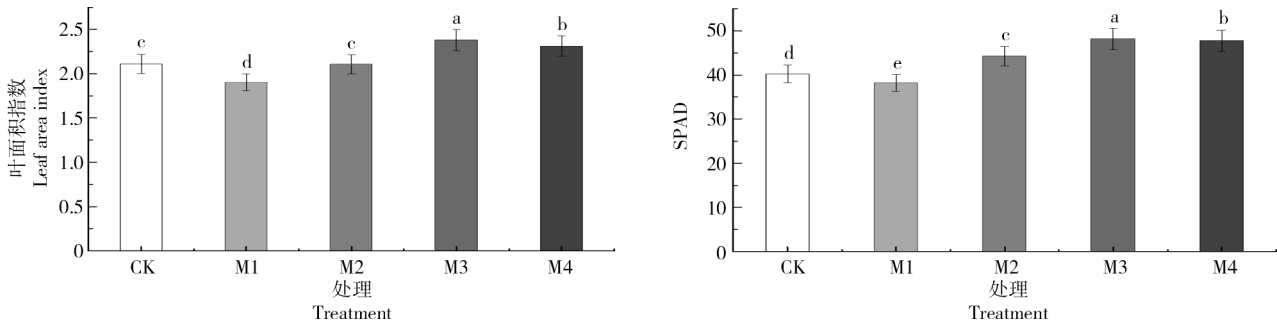


图 2 不同浓度木醋液处理下甘薯叶面积指数、叶绿素含量比较
Fig.2 Comparison of leaf area index and chlorophyll content of sweet potato under different concentrations of wood vinegar treatments

由图 3 可知, 叶面喷施木醋液后甘薯的可溶性糖含量、淀粉含量总体上处于增长趋势。随木醋液浓度的增加甘薯的可溶性糖、淀粉含量均呈先增加后降低的趋势, M3 处理的可溶性糖、淀粉含

量最大, 分别比 CK 显著提高 9.7%、4.8% ($P < 0.05$)。其中, M1 处理的可溶性糖、淀粉含量低于 CK, 其他处理则显著高于 CK ($P < 0.05$)。

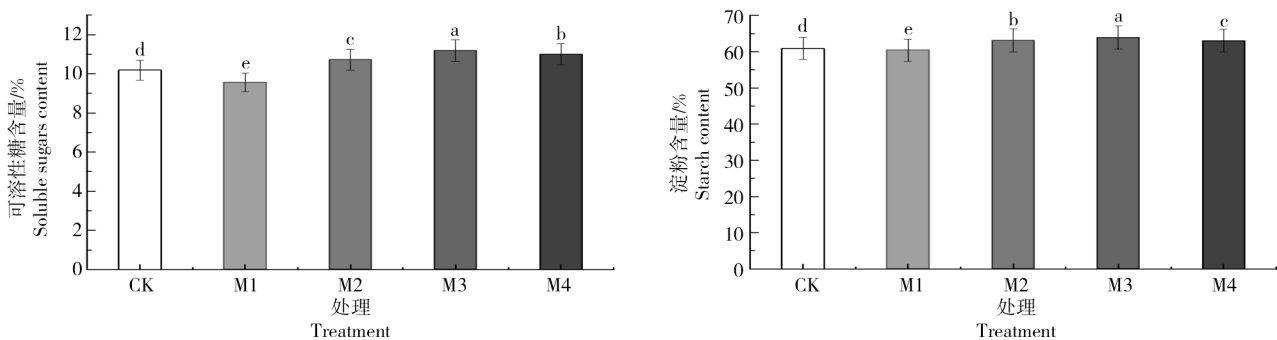


图 3 不同浓度木醋液处理下甘薯可溶性糖、淀粉含量比较
Fig.3 Comparison of soluble sugar and starch content of sweet potato under different concentrations of wood vinegar treatments

2.1.2 叶面喷施木醋液对甘薯产量的影响 由图4可知,叶面喷施木醋液后甘薯产量总体上处于增长趋势。随木醋液浓度的增加,甘薯的单株鲜薯质量、单株结薯数、鲜薯产量、干薯产量均呈先增加后

降低的趋势,M3处理的各指标最大,分别比CK显著提高 23.47%、41.17%、37.11%、22.08% ($P < 0.05$)。其中,M1处理的各指标低于CK,其他处理则显著高于CK ($P < 0.05$)。

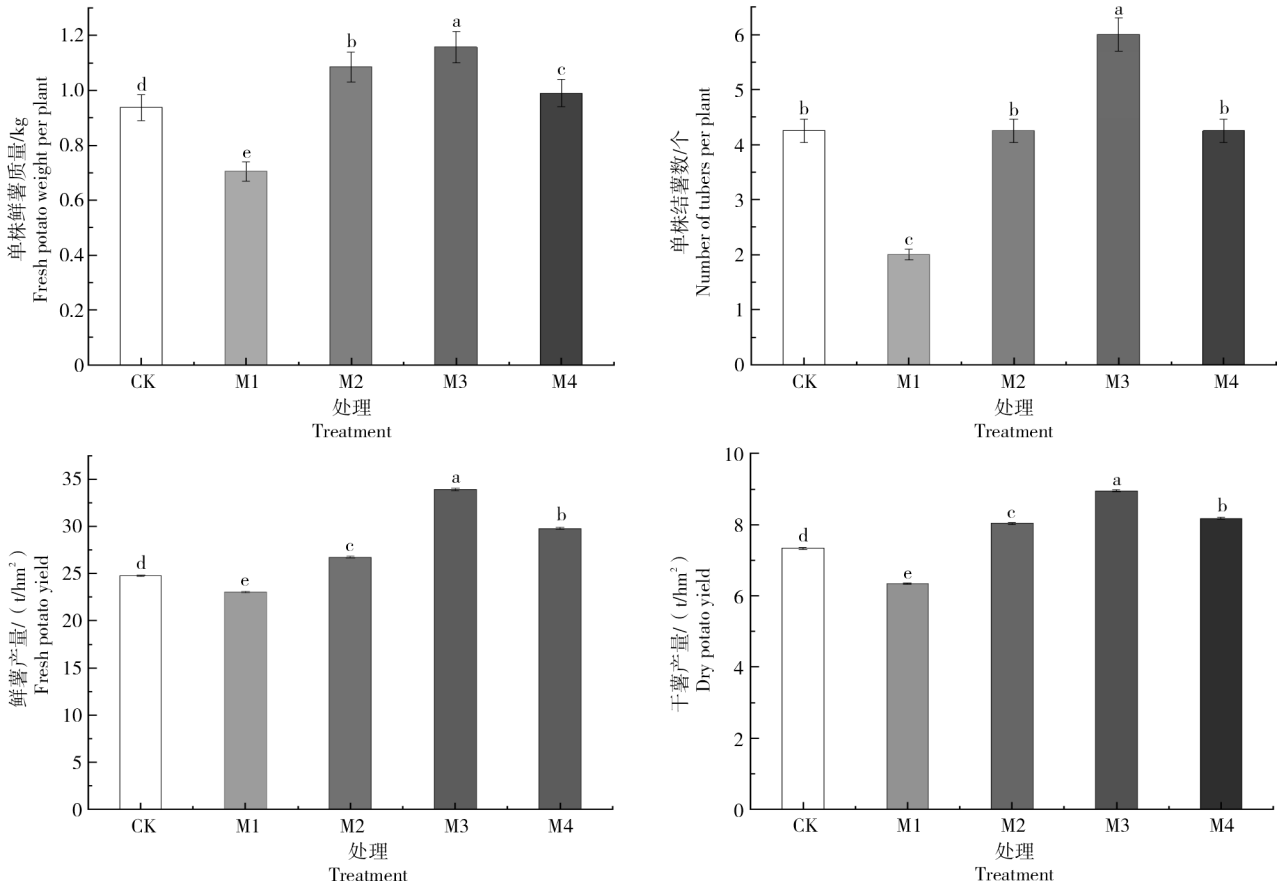


图4 不同浓度木醋液处理下甘薯产量比较
Fig.4 Comparison of sweet potato yield under different concentrations of wood vinegar treatments

随木醋液浓度的增加,均呈先增加后降低的趋势。M3处理下各指标均最大,显著高于CK ($P < 0.05$)。M1处理的蔓长显著高于CK ($P < 0.05$),其他指标则低于CK。在M3处理的基础上进一步研究氮肥与木醋液混施处理对甘薯生长发育和产量的影响。

2.2 氮肥与木醋液混施处理对甘薯生长发育和产量的影响

2.2.1 氮肥与木醋液混施处理对甘薯生长发育的影响 由图5可知,氮肥与木醋液混施后,随氮肥浓度的增加,甘薯蔓长、茎粗、单株茎叶鲜质量均呈先增加后降低的趋势。N3+M处理的蔓长、茎粗、单株茎叶鲜质量最大,分别比CK显著提高22.98%、25.66%、45.26% ($P < 0.05$)。氮肥与木醋液混施对甘薯蔓长、茎粗、单株茎叶鲜质量具有显著协同效应,N3+M处理的蔓长、茎粗、单株茎叶鲜质量分

别比N3显著提高5.29%、8.53%、14.52%,比M3显著提高1.0%、5.6%、5.7% ($P < 0.05$)。各处理的蔓长均显著高于CK,而对于茎粗、单株茎叶鲜质量而言,N1、N1+M处理均低于CK,N4+M处理单株茎叶鲜质量低于CK。

由图6可知,氮肥与木醋液混施后,随着氮肥浓度的增加,甘薯的叶面积指数、叶绿素含量均呈先增加后降低的趋势。N3+M处理的叶面积指数、叶绿素含量最大,分别比CK显著提高17.89%、23.35% ($P < 0.05$)。氮肥与木醋液混施对甘薯的叶面积指数、叶绿素含量具有显著协同效应,N3+M处理的叶面积指数、叶绿素含量分别比N3处理显著提高2.51%、2.14%,比M3处理显著提高4.32%、2.92% ($P < 0.05$)。对于叶面积指数而言,N1+M处理低于CK,其他处理均显著高于CK ($P < 0.05$)。对于叶绿素含量而言,N1+M、N2+M

处理低于CK,其他处理均显著高于CK($P<0.05$)。

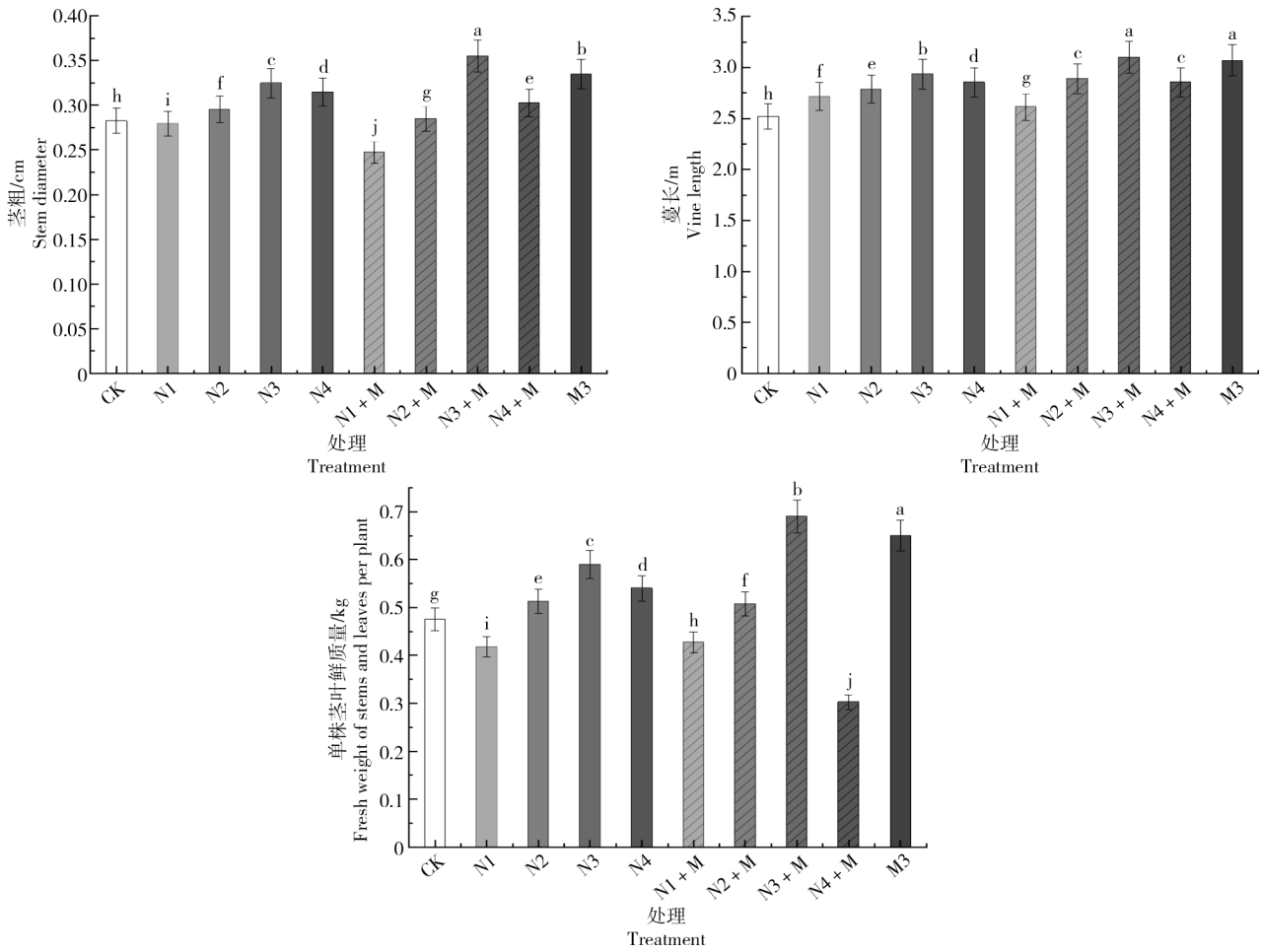


图5 氮肥与木醋液混施处理下甘薯蔓长、茎粗、单株茎叶鲜质量比较
Fig.5 Comparison of vine length, stem diameter, and fresh weight per plant of sweet potato under mixture treatments of nitrogen fertilizer and wood vinegar

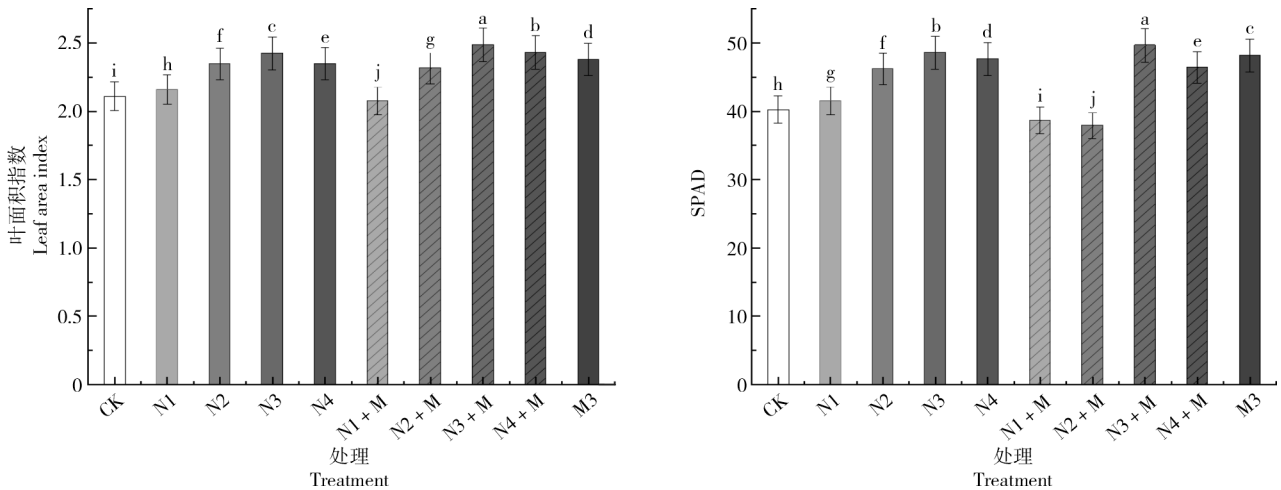


图6 氮肥与木醋液混施处理下甘薯叶面积指数、叶绿素含量比较
Fig.6 Comparison of leaf area index and chlorophyll content of sweet potato under mixture treatments of nitrogen fertilizer and wood vinegar

从图7可以看出,氮肥与木醋液混施后,随氮肥浓度的增加,甘薯的可溶性糖、淀粉含量均呈先增加后降低的趋势。N3+M处理的可溶性糖、淀

粉含量最大,分别比CK显著提高17.1%、5.5% ($P<0.05$)。氮肥与木醋液混合施用对甘薯的可溶性糖及淀粉含量具有显著的协同效应,N3+M处

理的可溶性糖、淀粉含量分别比N3处理显著提高4.8%、1.6%，比M3处理显著提高6.3%、0.6% ($P < 0.05$)。对于可溶性糖含量而言，N1、N2、N1+M处

理低于CK，其他处理均显著高于CK ($P < 0.05$)。对于淀粉含量而言，N1、N1+M、N4+M处理低于CK，其他处理均显著高于CK ($P < 0.05$)。

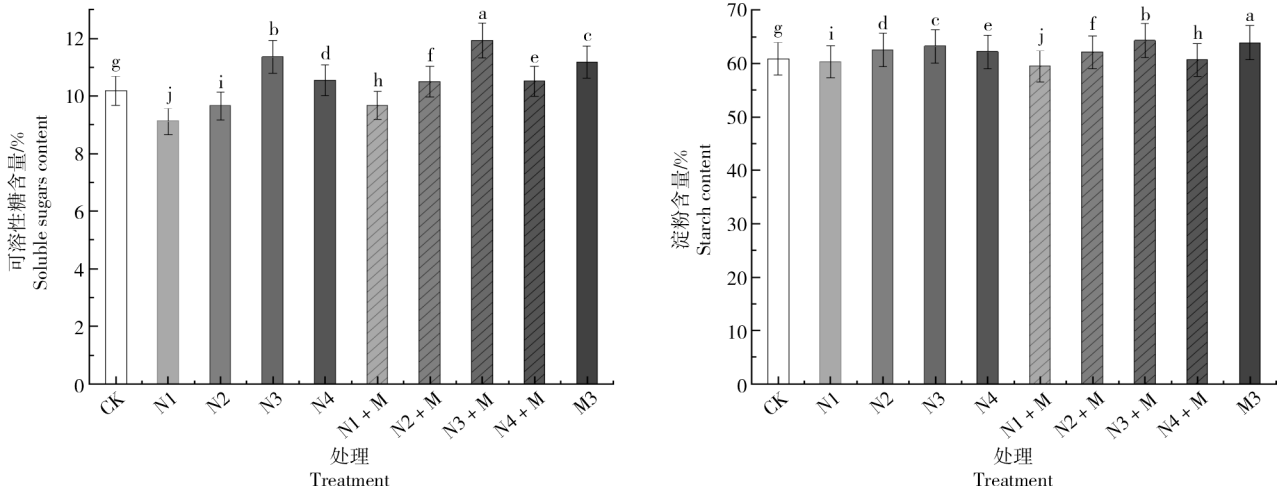


图7 氮肥与木醋液混施处理下甘薯可溶性糖、淀粉比较
Fig.7 Comparison of soluble sugar and starch content of sweet potato under mixture treatments of nitrogen fertilizer and wood vinegar

2.2.2 氮肥与木醋液混施处理对甘薯产量的影响 氮肥与木醋液混施处理下甘薯产量比较结果

如图8所示。

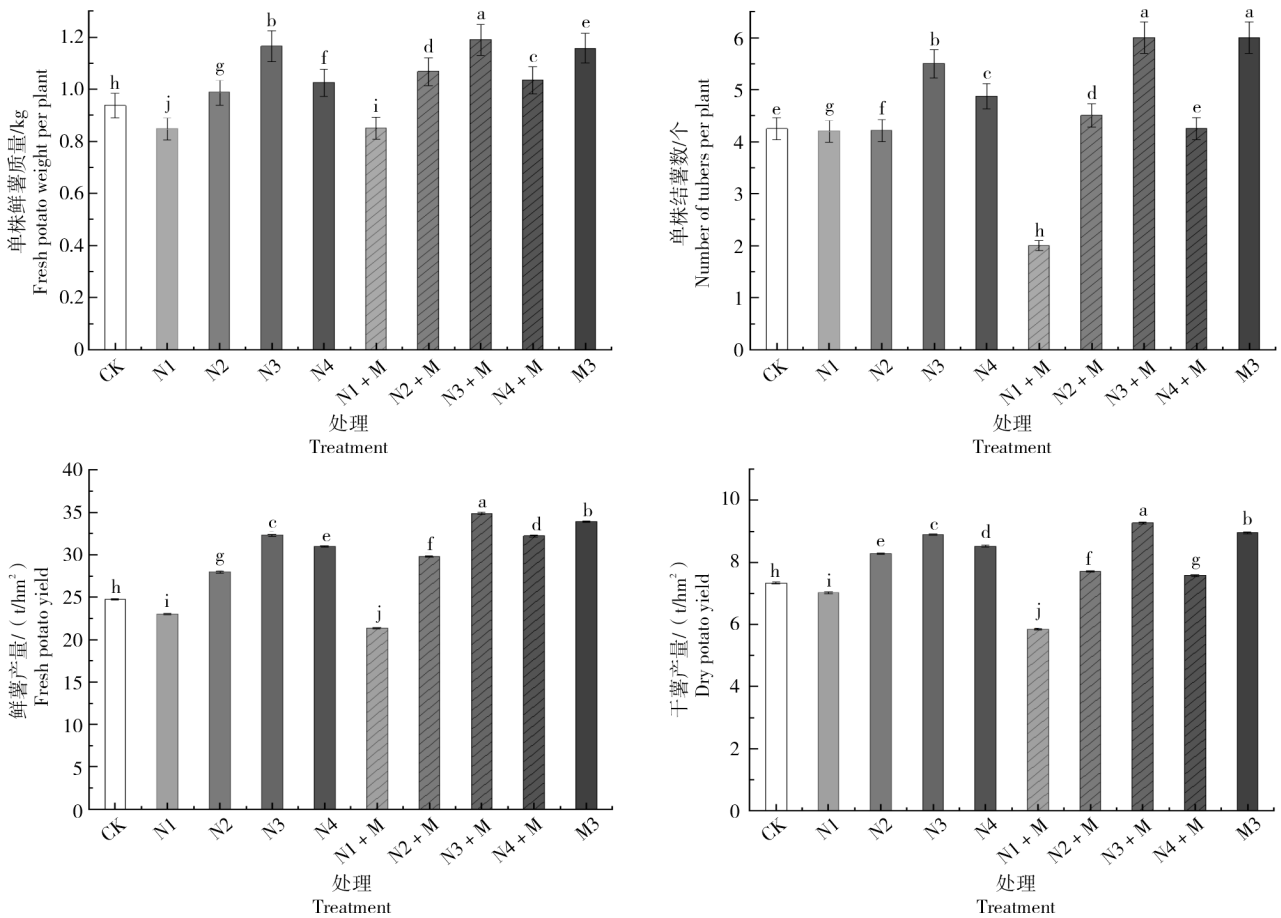


图8 氮肥与木醋液混施处理下甘薯产量比较
Fig.8 Comparison of sweet potato yield under mixture treatments of nitrogen fertilizer and wood vinegar

从图 8 可以看出,氮肥与木醋液混施后,甘薯各个产量指标均呈现出随氮肥浓度的增加先增加后降低的趋势。N3+M 处理的单株鲜薯质量、单株结薯数、鲜薯产量、干薯产量分别比 CK 显著提高 26.93%、41.17%、41.05%、26.38% ($P<0.05$)。氮肥与木醋液混施对甘薯产量增加具有显著协同效应,N3+M 处理的单株鲜薯质量、单株结薯数、鲜薯产量、干薯产量分别比 N3 处理显著提高 2.11%、8.33%、7.09%、4.04% ($P<0.05$)。N3+M 处理的单株鲜薯质量、鲜薯产量、干薯产量分别比 M3 处理显著提高 2.73%、2.87%、3.39% ($P<0.05$),单株结薯数与 M3 处理相同,无显著变化。对于单株结薯数而言,N1、N2、N1+M 处理低于 CK,其他处理均显著高于 CK ($P<0.05$)。对于单株结薯质量、鲜薯产量、干薯产量而言,N1、N1+M 处理低于 CK,其他处理均显著高于 CK ($P<0.05$)。

氮肥与木醋液混施后,随着氮肥浓度的增加,甘薯生长发育及产量指标均呈先增加后降低的趋势。N3+M 处理的各指标均最大,显著高于其他处理 ($P<0.05$)。

3 结论与讨论

3.1 叶面喷施木醋液对甘薯生长发育及产量的影响

本研究结果表明,叶面喷施木醋液能促进甘薯生长发育、提高产量。其表现在叶面喷施 0.2%~0.4% 木醋液后甘薯生长发育及产量指标均高于对照。这一结果与朱坤森等^[25]发现喷施一定浓度木醋液能促进水稻生长、提高产量的研究结果相一致。这是因为环境中的营养物质含量、植物抗氧化酶系统稳定性及内源激素平衡等因素共同影响植物生长发育情况。一定浓度木醋液会引发轻微逆境胁迫,进而增加作物体内抗氧化酶活性、提高内源激素含量^[19],促进作物生长。

木醋液对植物生长的调节作用与其浓度有关^[26]。本研究中,甘薯生长发育及产量各项指标随木醋液浓度增加均呈先增加后降低的趋势,当木醋液浓度为 0.3% 时,甘薯生长发育及产量各项指标均最大,0.1% 木醋液未达到甘薯生长所需临界值,对甘薯生长无响应。本研究结果与谷思成等^[27]发现喷施不同浓度木醋液对油菜生长的促进作用不同的研究结果相一致。这是因为木醋液是生物质原料高温热解后冷凝得到的混合物^[28],其中的不同成分对植物生长的影响不同^[29],如醇类促进植株生

长,酚类抑制生物活动^[30],二者互相作用,在适宜浓度时形成有利于作物生长的互作关系。且不同作物施用木醋液的适宜浓度不同^[23,25]。

3.2 氮肥与木醋液混施处理对甘薯生长发育和产量的影响

本研究结果表明,一定浓度的木醋液与氮肥协同作用能显著促进甘薯生长发育、提高块根产量。其表现在 0.3% 木醋液添加 1.5% 氮肥时,甘薯生长发育及产量指标均显著高于其他处理。这与胡世龙等^[22]发现氮肥与木醋液混施增加水稻产量的研究结果相一致。这是因为土壤中的有机肥除了为作物生长提供养分外,还能改良土壤理化性质、增加土壤养分^[31],同时优化土壤中微生物群落结构。因此,有机肥与无机肥混合施用能够显著提高土壤中有效养分含量,改变土壤中微生物数量及种类,改善土壤环境^[32]。而土壤中微生物含量及土壤养分含量对作物生长发育及最终产量起促进作用。

本研究中,相同浓度木醋液下,不同施氮量显著影响了甘薯生长发育,随氮肥浓度增加,甘薯生长发育及产量指标整体呈低-高-低的趋势,且 0.3% 木醋液下,1.0%~2.0% 氮肥对甘薯产量具有促进作用。这表明有机肥施用,氮肥在一定范围内能促进作物生长发育、提高作物产量。这是因为有机肥与无机肥料混合使用能增加氮肥的肥料利用率。当尿素与有机肥料混合施用入土壤后,土壤微生物活动加剧,氮肥被固定在微生物体内的含量增加,氮肥挥发减少。作物需肥量增加时,土壤中的微生物因养分不足,无法维持自身生命活动,发生死亡现象,此时微生物体内氮素释放被植物根系吸收。

本研究表明,氮肥施用量相等时,与单一施氮肥相比,氮肥与木醋液协同作用对甘薯生长发育的促进作用显著加强。这与高妍等^[33]发现氮肥配施不同浓度木醋液均能促进小麦生长,提高产量的研究结果相一致。这是因为适宜浓度的木醋液叶面喷施后对甘薯产生酸性刺激,根系分泌物增加,根际微环境得到改善,微生物繁殖加快,养分有效性增加,使得甘薯根系对养分元素吸收能力增加。施氮量过高时,植物叶片光合产物运转至块根受限,大量光合产物在茎叶中积聚,导致甘薯地上部分旺长。喷施木醋液能促进光合产物向块根转移,有效降低光合产物地上部积累^[4]。足够的养分促进植物光合作用及代谢^[13],代谢促进植物根系生长发育,地上、地下部分相互促进,最终导致生长发育指标提高^[19]。

木醋液对甘薯生长发育的促进程度与浓度有关,其最优浓度为0.3%。叶面喷施0.2%~0.4%浓度木醋液时,随木醋液浓度增加,甘薯生长发育及产量各项指标呈先增加后降低的趋势。0.1%木醋液未达到甘薯生长所需临界值,对甘薯生长无响应。木醋液与氮肥混施对甘薯生长发育及产量提高具有协同作用,1.5%氮肥与0.3%木醋液混施为最优浓度,增产效果显著。在甘薯生产中,可采用氮肥与木醋液协同处理的方式提高经济产量。

参考文献:

- [1] LIU Q C. Improvement for agronomically important traits by gene engineering in sweetpotato[J]. *Breeding Science*, 2017, 67(1):15-26.
- [2] 王芳,乔帅,杨松涛,等. 淀粉型甘薯‘川薯231’的选育和优势特性鉴定[J]. *中国农学通报*, 2023, 39(1):16-21.
WANG F, QIAO S, YANG S T, et al. Starch type sweet potato cultivar ‘Chuanshu231’ breeding and superior characteristics [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(1):16-21.
- [3] 张洋,胥婷婷,张荣. 氮肥减施对温室丝瓜产量、品质、养分吸收量及氮肥利用率的影响[J]. *青海大学学报*, 2020, 38(6):9-14.
ZHANG Y, XU T T, ZHANG R. Effects of reduction of nitrogen fertilizer on the yield, quality, absorption of nourishment and utilization of nitrogen of sponge gourd in greenhouse[J]. *Journal of Qinghai University*, 2020, 38(6):9-14.
- [4] 朱三明,陈俊婕,郝森,等. 控释氮肥在小麦上的应用研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(5):18-20, 25.
ZHU S M, CHEN J J, HAO M, et al. Research advances in the application of controlled release nitrogen fertilizer in wheat production[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, 49(5):18-20, 25.
- [5] 黄志僖,施运锋,宋世浩,等. 不同灌溉方式下氮磷钾缺施对冬小麦及水肥利用效率影响[J]. *节水灌溉*, 2022(11):79-85.
HUANG Z X, SHI Y F, SONG S H, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium deficiency on water and fertilizer utilization efficiency of winter wheat under different irrigation methods[J]. *Water Saving Irrigation*, 2022(11):79-85.
- [6] 解晓红,解红娥,李江辉,等. 富钾土壤中氮、磷肥不同水平对甘薯生长及产量的影响[J]. *山西农业科学*, 2014, 42(6):576-580.
XIE X H, XIE H E, LI J H, et al. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of sweet potato in potassium-rich soil[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2014, 42(6):576-580.
- [7] BUSSAN A J. The canon of potato science: 45. brown centre and hollow heart[J]. *Potato Research*, 2007, 50(3):395-398.
- [8] LOEBENSTEIN G, THOTTAPILLY G. The sweetpotato [M]. Berlin: Springer Science, Business Media B. V., 2009: 303-304.
- [9] 陈晓光,李洪民,张爱君,等. 不同氮水平下多效唑对食用型甘薯光合和淀粉积累的影响[J]. *作物学报*, 2012, 38(9):1728-1733.
CHEN X G, LI H M, ZHANG A J, et al. Effect of paclobutrazol under different N-application rates on photosynthesis and starch accumulation in edible sweetpotato[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(9):1728-1733.
- [10] ANKUMAH R O, KHAN V, MWAMBA K, et al. The influence of source and timing of nitrogen fertilizers on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, 100(2/3):201-207.
- [11] KAUPA P, RAJASHEKHAR RAO B K. Nitrogen mineralization and efficiency from co-applied animal manures and mineral fertilizer in sweetpotato under humid tropical conditions[J]. *Field Crops Research*, 2014, 168:48-56.
- [12] 许纪东,聂胜委,张巧萍,等. 旋耕方式下氮肥不同减施量对小麦产量效应的影响[J]. *山西农业科学*, 2019, 47(9):1573-1576.
XU J D, NIE S W, ZHANG Q P, et al. Effects of various nitrogen fertilizer application reduced levels on wheat grain yields under rotation tillage[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2019, 47(9):1573-1576.
- [13] 梁曼恬,黄科,袁怡鸣,等. 有机肥部分替代化肥对甘蓝生长、品质及土壤状况的影响[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(5):1371-1377.
LIANG M T, HUANG K, YUAN Y M, et al. Effects of partial substitution of organic fertilizer for chemical fertilizer on growth, quality and soil condition of cabbage[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(5):1371-1377.
- [14] 王文赞,韩建,倪玉雪,等. 有机肥替代化肥氮对苹果产量、品质及温室气体排放的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2023, 29(3):437-448.
WANG W Z, HAN J, NI Y X, et al. Effects of substituting chemical nitrogen fertilizer with organic fertilizer on apple yield, quality, and greenhouse gas emissions[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2023, 29(3):437-448.
- [15] 赵淑衡,李卓洁,刘晓锋,等. 秸秆木醋液的制备及应用研究进展[J]. *河南农业科学*, 2022, 51(1):1-10.
ZHAO S H, LI Z J, LIU X F, et al. Research progress on preparation and application of straw wood vinegar[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2022, 51(1):1-10.
- [16] 贺国祥,张杰,孟会生,等. 木醋液对土壤生物化学性状的影响[J]. *贵州农业科学*, 2022, 50(4):71-78.
HE G X, ZHANG J, MENG H S, et al. Effects of wood vinegar on the biochemical properties of soil[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2022, 50(4):71-78.
- [17] 王倩,孙会军,孙令强. 化感物质及作用机理[J]. *中国蔬菜*, 2005(S1):70-74.
WANG Q, SUN H J, SUN L Q. Allelochemicals and its mechanism of action in allelopathy[J]. *China Vegetables*, 2005(S1):70-74.
- [18] 毛凯伦,李司童,李本晟,等. 木醋液对南郑烤烟上部叶生长及产质量的影响[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(3):645-652.
MAO K L, LI S T, LI B S, et al. Effect of wood vinegar on growth, yield and quality of upper leaves of flue-cured tobacco of Nanzheng[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(3):645-652.
- [19] 刘长风,李敏,高品一,等. 木醋液的来源、成分及其应用研究进展[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(1):28-32.
LIU C F, LI M, GAO P Y, et al. Research progress of source, chemical compositions and application of wood vinegar[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(1):28-32.
- [20] 张利亚,王留成,刘霞,等. 木醋液作为叶面肥对番茄生长的

- 调节效果[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(2): 231-233.
- ZHANG L Y, WANG L C, LIU X, et al. Regulation effect of wood vinegar as foliar fertilizer on tomato growth[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2019, 60(2): 231-233.
- [21] GREWAL A, ABBEY L, GUNUPURU L R. Production, prospects and potential application of pyrolytic acid in agriculture[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2018, 135: 152-159.
- [22] LU X C, JIANG J C, HE J, et al. Effect of pyrolysis temperature on the characteristics of wood vinegar derived from Chinese fir waste: a comprehensive study on its growth regulation performance and mechanism[J]. ACS Omega, 2019, 4(21): 19054-19062.
- [23] 胡世龙, 程博, 曹凑贵, 等. 不同氮肥水平下喷施木醋液对水稻产量和食味品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 133-140.
- HU S L, CHENG B, CAO C G, et al. Effects of spraying wood vinegar on yield and taste quality of rice under different nitrogen levels[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(1): 133-140.
- [24] SEIFTER S, MUNTWYLER E, HARKNESS D M. Some effects of continued protein deprivation, with and without methionine supplementation, on intracellular liver components[J]. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine, 1950, 75(1): 46-50.
- [25] 朱坤森, 谷思成, 耿默琳, 等. 叶面喷施木醋液对水稻农艺性状和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2023, 39(24): 6-12.
- ZHU K M, GU S C, GENG M L, et al. Effects of foliar spraying wood vinegar on rice agronomic characters and yield[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(24): 6-12.
- [26] 潘玉蕊, 郑凤萍, 陈林, 等. 两种木醋液对烟草生长及土壤养分的影响[J]. 绿色科技, 2018(11): 29-32.
- PAN Y R, ZHENG F P, CHEN L, et al. Effects of two wood vinegars on tobacco growth and soil nutrients[J]. Journal of Green Science and Technology, 2018(11): 29-32.
- [27] 谷思成, 朱坤森, 耿默琳, 等. 叶面喷施木醋液对油菜苗期生长发育的影响[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(3): 453-460.
- GU S C, ZHU K M, GENG M L, et al. Leaf spray of wood vinegar and its effect on rapeseed seedling growth[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2020, 42(3): 453-460.
- [28] 卢辛成, 蒋剑春, 何静, 等. 木醋液对小麦幼苗生长、抗氧化特性及内源激素含量的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(7): 7-13.
- LU X C, JIANG J C, HE J, et al. Effects of wood vinegar on seedling growth, antioxidant activity and endogenous hormone content of wheat[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(7): 7-13.
- [29] 平安. 木醋液在农业上的应用及作用机理研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- PING A. Research on the agriculture application of pyrolytic acid and mechanism[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2010.
- [30] 刘润宇, 叶乐夫, 王雪, 等. 木醋液在农业病虫害防控中的应用研究进展[J]. 中国农学通报, 2020, 36(35): 113-118.
- LIU R Y, YE L F, WANG X, et al. Wood vinegar application in agricultural diseases, pests and weeds control: a review[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(35): 113-118.
- [31] 李均. 有机肥施用对茶园土壤改良及茶叶品质提升的效果分析[J]. 南方农业, 2023, 17(15): 152-156.
- LI J. Analysis of the effect of organic fertilizer application on tea garden soil improvement and tea quality improvement[J]. South China Agriculture, 2023, 17(15): 152-156.
- [32] 姜佰文, 牛煜, 王春宏, 等. 应用液体有机肥减施氮肥对玉米氮素利用效率及产量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2020, 51(12): 24-31, 40.
- JIANG B W, NIU Y, WANG C H, et al. Effect of liquid organic fertilizer and reduced nitrogen fertilizer on nitrogen utilization efficiency and yield of maize[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2020, 51(12): 24-31, 40.
- [33] 高妍, 狄雅莉, 郭赋涵, 等. 氮肥配施不同用量木醋液对春小麦产量及营养品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(4): 184-191.
- GAO Y, DI Y L, GUO F H, et al. Effects of different amount of wood vinegar combined with nitrogen fertilizer on spring wheat yield and nutrient quality[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022(4): 184-191.