

海藻有机矿物质营养剂替代化肥对番茄生长发育的影响

姜兆伟¹, 张丽莉², 姚建刚^{2*}, 曹守军², 李涛², 王虹云²

(1. 海阳市农业技术推广中心, 山东海阳 265100; 2. 山东省烟台市农业科学研究院, 山东烟台 265500)

摘要 以海藻提取物为主要原材料浓缩提炼加工而成的有机矿物质营养剂为研究对象, 将海藻有机矿物质营养剂替代化学肥料在番茄生产中进行应用, 明确其对番茄生长发育的影响, 为海藻有机矿物质营养剂替代化学肥料的推广应用提供理论依据。试验设 2 个处理, 以施用 0.5% 的磷酸二氢钾叶面肥为对照, 施用海藻有机矿物质营养剂作为叶面肥为处理, 采用随机区组试验, 全生育期施用叶面肥 10 次。结果表明, 与化学肥料相比, 施用海藻有机矿物质营养剂可以提高番茄苗期的茎粗、叶面积, 降低节间长和株高等, 促进番茄壮苗; 可以提高番茄光合速率, 使前期产量增加 7.0%, 总产量增加 7.5%; 番茄的可溶性糖含量提高 12.8%; 番茄叶霉病和灰霉病的病情指数分别为 9.6 和 6.7, 降低病原菌的侵染。将海藻有机矿物质营养剂替代化学肥料在番茄生产中应用, 在减少化学肥料施用量的同时, 可以促进番茄苗期生长、提高番茄产量、减轻病害的损伤程度。

关键词 海藻; 有机肥; 替代化肥; 番茄; 生长发育

中图分类号 S641.2 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)03-0165-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.03.044



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Seaweed Organic Mineral Nutrients Instead of Chemical Fertilizer on Tomato Growth and Development

JIANG Zhao-wei¹, ZHANG Li-li², YAO Jian-gang² et al (1. Haiyang Agricultural Technology Promotion Center, Haiyang, Shandong 265100; 2. Shandong Province Yantai Agricultural Science Institute, Yantai, Shandong 265500)

Abstract Organic mineral nutrients, which are concentrated and refined from seaweed extract as the main raw material, are used in tomato production instead of chemical fertilizer, so as to clarify its influence on tomato growth and development, and provide theoretical basis for popularization and application of seaweed organic mineral nutrients instead of chemical fertilizer. The experiment was divided into two treatments, with 0.5% potassium dihydrogen phosphate foliar fertilizer as control, seaweed organic mineral nutrient as foliar fertilizer as treatment, and a randomized block experiment was adopted, in which foliar fertilizer was applied 10 times in the whole growth period. The result showed that compared with chemical fertilizer, the application of seaweed organic mineral nutrients could increase the stem diameter and leaf area, reduce the internode length and plant height, and promote the strong seedling of tomato; It could improve the photosynthetic rate of tomato, increase the early yield by 7.0% and the total yield by 7.5%. The soluble sugar content of tomato increased by 12.8%; the disease indexes of tomato leaf mold and gray mold were 9.6 and 6.7 respectively, which reduced the infection of pathogenic bacteria. The application of seaweed organic mineral nutrient instead of chemical fertilizer in tomato production can not only reduce the application amount of chemical fertilizer, but also promote the growth of tomato at seedling stage, increase the yield of tomato and reduce the damage degree of disease.

Key words Seaweed; Organic fertilizer; Replace chemical fertilizer; Tomato; Growth and development

番茄是我国设施栽培面积最大的蔬菜作物之一, 在生产过程中由于盲目施用化肥致使化肥施用量严重超标, 这不仅带来了成本的增加, 而且还破坏了农业耕地的土壤结构, 加速其养分流失, 造成土壤严重板结、土壤环境次生盐碱化、污染地下水资源等问题。新型绿色环保型肥料的研究及替代化学肥料技术的应用是减少化学肥料施用量行之有效的办法, 对农业的可持续发展具有重要意义。叶面施肥可使营养物质从叶部进入植株体内, 直接参与作物的新陈代谢与有机物的合成过程; 叶面施肥不但可以被植物吸收, 并且在吸收速率上明显优于土壤施肥, 叶面喷施作为一种高效、直接的辅助措施, 可有效提高肥料的利用率, 改善作物生长状况^[1]。海藻中富含多种对蔬菜生长有益的物质及微量元素, 有关海藻的利用已经引起人们的关注, 包括有机肥料生产^[2]。牟晓真等^[3]发现海藻肥是由天然海藻经过滤、化学降解、生物酶解等方法得到的一种生物有机肥料。由于海藻肥生产中没有经过高温及脱水等过程, 因此不但保留了海藻中丰富的

K、Ca、Mg、Fe、Mn 等矿物质及维生素外, 还保留了海藻中的天然活性成分, 包括细胞分裂素、生长素、酚类、甜菜碱等生长调节物质和抗生物质。王强等^[4]研究表明从海藻中提取的生理活性物质被应用于农业和园艺作物上, 可以产生多种有益效果, 如提高种子发芽率, 促进幼苗生长, 增产增质, 促进作物养分吸收等^[5]。吴文杰等^[6]发现海带提取物不但可以促进作物幼苗的生长而且还可以增强作物对环境压力的耐受性, 如耐盐、抗病能力等^[7]。国内外很多科研及生产应用将叶面肥作为研究热点, 目前生产中应用的叶面肥大多以化学肥料为主^[8-9], 随着化肥、农药双减政策和零增长目标的提出, 绿色环保型肥料的研究并替代化学肥料的研究将成为研究重点。笔者以海藻提取物为主要原材料浓缩提炼加工而成有机矿物质营养剂为研究对象, 其不仅富含海藻酸和褐藻素、胡萝卜素类、叶黄素类、叶绿素等各种有效色素, 还含甘露醇、海藻多糖等碳水化合物以及碘、维生素 B₂、谷氨酸等氨基酸类物质, 将海藻有机矿物质营养剂替代化学肥料在番茄生产中进行应用, 明确其对番茄生长发育的影响, 旨在为海藻有机矿物质营养剂替代化学肥料的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 以“烟粉 210”番茄品种为研究对象, 由山东

基金项目 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助(CARS-23-G12); 烟台市重点研发计划“优质多抗设施专用番茄新品种选育及高效栽培技术研究”(2019MSGY122)。

作者简介 姜兆伟(1968—), 男, 山东海阳人, 高级农艺师, 从事蔬菜栽培技术研发与推广工作。*通信作者, 高级农艺师, 硕士, 从事蔬菜遗传育种与栽培研究。

收稿日期 2021-05-25

省烟台市农业科学研究院选育;海藻有机矿物质营养剂,由杭州青洋科技有限公司研制。

1.2 试验设计 试验于2019年3月在山东省烟台市农业科学研究院试验基地完成。试验设2个处理,CK施用0.5%的磷酸二氢钾叶面肥;处理施用海藻有机矿物质营养剂1000倍液作为叶面肥。每个处理小区面积120 m²,3次重复,采用完全随机区组试验。全生育期施用叶面肥10次,其他管理条件完全相同,具体施用时间:3月19日、3月30日、4月9日、4月18日、4月26日、5月5日、5月12日、5月23日、6月8日、6月16日。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植物学特性测定。分别在苗期、始花期和盛瓜期测定不同处理的株高、茎粗、节间长和叶面积。株高:利用直尺测量子叶到生长点的长度;茎粗:游标卡尺测量第6片叶平行方向的粗度;节间长:直尺测量从生长点开始向下第5片叶到第6片叶之间的长度;叶面积:利用叶面积仪进行测定^[10]。

1.3.2 光合参数测定。分别在苗期、始花期和盛瓜期进行光合参数测量,每处理随机选取5株,每株选取相同部位的叶片用LI-6400光合仪进行光合速率的测定,测定时使用红蓝光源叶室,光量子通量密度设为800 μmol/(m²·s),每片叶读取3次数据,取其平均值^[11]。

1.3.3 产量及品质测定。选取每个处理的第3穗果实进行维生素C、可溶性总糖、可溶性蛋白含量的测定。维生素C含量采用2,6-二氯酚靛酚法测定;可溶性蛋白含量采用考马斯

亮蓝G-250法测定;可溶性总糖含量采用蒽酮比色法测定^[12]。

1.3.4 抗病性分析。在收获结束期,观察测量各处理的植株发病情况。主要包括叶霉病和灰霉病,按叶片上病斑占整个叶面积的百分率分级。分级标准:0级,无病斑;1级,病斑面积占整片叶面积的5%以下;3级,病斑面积占整片叶面积的6%~10%;5级,病斑面积占整片叶面积的11%~20%;7级,病斑面积占整片叶面积的21%~50%;9级,病斑面积占整片叶面积的51%以上。发病率=病株数/总株数×100%;病情指数=Σ(病级株数×代表级数)/(植株总数×最高代表级数)×100。

1.4 数据分析 试验数据采用Microsoft Excel 2003和DPS 7.05软件进行处理和统计分析,对各处理平均值采用Duncan's方法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 海藻营养剂对不同时期番茄植物学特性的影响 由表1可知,施用海藻有机矿物质营养剂处理的番茄在不同生育期其株高、茎粗、叶面积和节间长度等植物学特性与对照存在显著差异。在苗期,处理的株高和节间长度显著低于CK,而茎粗和叶面积显著高于CK;在始花期,只有处理的叶面积显著高于CK,而株高、茎粗和节间长度无显著差异;在盛果期,处理与CK的番茄株高、茎粗、叶面积和节间长度等植物学特性均无显著差异。说明施用海藻有机矿物质营养剂对番茄苗期的植物学特性影响较大,而始花期和盛果期影响不显著。

表1 番茄不同时期植物学特性

Table 1 Botanical characteristics of tomato in different periods

时期 Peirod	处理 Treatment	株高 Plant height cm	茎粗 Stem diameter mm	叶面积 Leaf area cm ²	节间长度 Internode length cm
苗期 Seedling period	CK	28.6 a	6.5 b	35.7 b	8.7 a
	处理	25.6 b	7.0 a	39.4 a	7.9 b
始花期 Initial flowering period	CK	86.8 a	7.6 a	62.5 b	10.4 a
	处理	84.5 a	8.0 a	66.8 a	10.2 a
盛果期 Full fruit period	CK	154.7 a	8.1 a	110.2 a	12.7 a
	处理	155.3 a	8.3 a	110.2 a	12.6 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异达显著水平($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters represented significant difference between different treatments at 0.05 level

2.2 海藻营养剂对不同时期番茄光合参数的影响 在番茄生长的不同时期对其光合参数进行了测定,结果见表2。由表2可知,在苗期,施用海藻有机矿物质营养剂处理的番茄光合速率、气孔导度以及蒸腾速率均显著高于CK,而胞间

CO₂浓度显著低于CK;始花期,处理的光合速率和气孔导度均显著高于CK,胞间CO₂浓度显著低于CK,处理和CK的蒸腾速率无显著差异;盛果期,处理和CK的光合速率、气孔导度、蒸腾速率以及胞间CO₂浓度均无显著差异。

表2 番茄不同时期光合参数

Table 2 Photosynthetic parameters of tomato in different periods

时期 Peirod	处理 Treatment	光合速率 Photosynthetic rate μmol/(m ² ·s)	气孔导度 Stomatal conductance mol/(m ² ·s)	胞间CO ₂ 浓度 Intercellular CO ₂ concentration/μmol/(m ² ·s)	蒸腾速率 Transpiration rate μmol/(m ² ·s)
苗期 Seedling period	CK	33.4 b	0.82 b	293.6 a	5.4 b
	处理	36.8 a	0.93 a	270.7 b	5.9 a
始花期 Initial flowering period	CK	32.7 b	0.67 b	242.9 a	4.9 a
	处理	36.1 a	0.81 a	229.9 b	5.0 a
盛果期 Full fruit period	CK	30.5 a	0.58 a	253.4 a	4.4 a
	处理	30.8 a	0.63 a	246.7 a	4.7 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异达显著水平($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters represented significant difference between different treatments at 0.05 level

2.3 海藻营养剂对番茄产量及品质的影响 由表 3 可知,处理的前期产量和总产量均显著高于 CK,其中前期产量高于 CK 7.0%,总产量高于 CK 7.5%,表明施用海藻有机矿物质营养剂可以显著提高番茄的前期产量和总产量。通过对番茄果实品质分析可以看出,处理的维生素 C 含量略低于 CK,可溶性蛋白含量略高于 CK,处理和 CK 的维生素 C 含量和可溶性蛋白含量无显著差异;但处理的可溶性糖含量显著高于 CK 12.8%。

表 3 不同处理的番茄产量及品质

Table 3 The yield and quality of tomato in different treatments

处理 Treatment	前期产量 Early yield kg/hm ²	总产量 Total yield kg/hm ²	维生素 C Vitamin C mg/kg	可溶性糖 Soluble sugar %	可溶性 蛋白 Soluble protein mg/kg
CK	43 650 b	115 912.5 b	153 a	3.9 b	8.3 a
处理 Treatment	46 725 a	124 575.0 a	149 a	4.4 a	8.7 a
较 CK Compared with CK//%	7.0	7.5	-2.6	12.8	4.8

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异达显著水平($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters represented significant difference between different treatments at 0.05 level

2.4 海藻营养剂对番茄抗病性的影响 在番茄生长后期,对番茄叶霉病、灰霉病等主要病害进行分析,结果见表 4。由表 4 可知,施用海藻有机矿物质营养剂的处理与对照的番茄叶霉病和灰霉病发病率无显著差异;但处理的叶霉病和灰霉病的病情指数显著低于对照。施用海藻有机矿物质营养剂后虽然不能降低番茄叶霉病和灰霉病的发病率,但可以减轻其发病程度。

表 4 不同处理的番茄抗病性

Table 4 Disease resistance of tomato in different treatments

处理 Treatment	发病率 Incidence//%		病情指数 Disease index	
	叶霉病	灰霉病	叶霉病	灰霉病
CK	35.7 a	26.7 a	23.7 a	13.3 a
处理 Treatment	33.3 a	24.7 a	9.6 b	6.7 b

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异达显著水平($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters represented significant difference between different treatments at 0.05 level

3 讨论

目前,有机无机生物活性肥料、生物有机无机复合肥以及新型有机肥在常规农业中已经得到较广泛的应用,并取得了良好的增产效果^[13]。王东升等^[14]研究表明生物有机肥较普通有机肥处理除对黄瓜产量显著影响外,对黄瓜植株的株高、茎粗也有显著促进作用。蔬菜苗期生长对后期产量起着决定性的作用,健壮的幼苗是高产的必要保障。蔬菜壮苗的重要指标包括株高、茎粗、节间长和叶面积等,株高较矮、茎粗较粗、节间较短、叶面积较大是番茄壮苗的表现。该研究结果表明施用海藻有机矿物质营养剂,番茄幼苗的株高和节间长低于对照,茎粗和叶面积高于对照,说明与化学肥料相比海藻有机矿物质营养剂可以促进番茄幼苗形成壮苗,这与何梅琳等^[15]和王强等^[4]的研究结果一致。研究发现海藻具有促进菠菜、烟草、冬瓜等作物生长的特性^[16-18]。但到始花

期和盛果期后番茄植物学特性与化学肥料无显著差异,其原因是番茄从营养生长转到生殖生长,虽然未表现较好的植物学特性,但通过产量的测定验证了施用海藻有机矿物质营养剂的前期产量和总产量均显著高于施用化学肥料。

光合作用是植物同化产物合成和获取能量的根本来源,是植物生长和发育的基础^[19]。利用海藻有机矿物质营养剂替代化学肥料不论是番茄植物学特性的增加还是产量的增加,其根本是由于提高了番茄植株的光合速率,使光合同化产物积累量增加。光合速率在不同光照条件下具有不同的限制因子,Farquhar 等^[20]研究表明光合速率与胞间二氧化碳浓度呈负相关,说明光合速率主要是受非气孔因素的影响。该研究发现施用海藻有机矿物质营养剂在番茄苗期和始花期,其光合速率显著高于对照,但胞间二氧化碳浓度低于对照,光合速率与胞间二氧化碳浓度呈负相关,说明其主要受非气孔因素的影响。其原因是海藻有机矿物质营养剂还含海藻酸和褐藻素、胡萝卜素类、叶黄素类、甘露醇、海藻多糖等碳水化合物以及碘、维生素 B₂、谷氨酸等氨基酸类物质,这些物质活化了番茄体内的光合酶系统,进而提高了番茄的光合效率,合成了更多的碳水化合物,促进植株生长及产量增加,这与张有富等^[21]和姚建刚等^[22]的研究一致。

4 结论

该研究结果表明,利用海藻有机矿物质营养剂替代化学肥料在番茄生产中进行应用有利于提高番茄苗期的茎粗、叶面积,降低节间长和株高等植物学特性,促进番茄壮苗,并使番茄植株抗叶霉病和灰霉病的能力得以提升。叶面施用海藻有机矿物质营养剂还能提高番茄光合速率,进而使前期产量增加 7.0%,总产量增加 7.5%;并显著提高番茄果实的可溶性糖含量。

参考文献

- [1] 彭亮,孙智明,卢成合,等.植物营养剂对番茄产量和品质的影响[J].湖北农业科学,2017,56(15):2902-2903,2915.
- [2] BERTAGNOLLI C, DA SILVA M G C, GUIBAL E. Chromium biosorption using the residue of alginate extraction from *Sargassum filipendula* [J]. Chemical engineering journal, 2014, 237: 362-371.
- [3] 牟晓真,范晓,韩丽君.藻类中植物生长素的研究[J].海洋科学集刊, 2000(00):67-70.
- [4] 王强,石伟勇.海藻肥对番茄生长的影响及其机理研究[J].浙江农业科学,2003(2):19-22.
- [5] RATHORE S S, CHAUDHARY D R, BORICHA G N, et al. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions [J]. South African journal of botany, 2009, 75(2):351-355.
- [6] 吴文杰,张灿河.海带提取物对海水胁迫下油菜幼苗生长的影响[J].安徽农业科学,2009,37(18):8417-8419,8422.
- [7] ALLEN V G, POND K R, SAKER K E, et al. Tasco: Influence of a brown seaweed on antioxidants in forages and livestock-A review [J]. Journal of animal science, 2001, 79: 21-31.
- [8] 李双,曾完成.含腐植酸水溶肥料发展的思考[J].腐植酸,2019(2):5-12.
- [9] 刘中良,高俊杰,谷端银,等.有机肥替代化肥对土壤环境和番茄品质的影响[J].南方农业学报,2020,51(2):357-363.
- [10] 朱雨晴,薛晓萍.遮阴对花果期番茄植株生长及干物质分配的影响[J].江苏农业科学,2020,48(13):157-163.
- [11] 陶爱群,王仁才,莫红专,等.不同肥料对玉泉冬枣光合特性及果实品质的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2017,43(2):166-170.

对生长、发育、分化免疫细胞的器官产生毒作用。服用贻贝粗多糖能降低免疫抑制小鼠心脏、肠器官指数,升高胸腺指数,增加白细胞、红细胞、血红蛋白、血小板的含量,使淋巴细胞、中间细胞、中性粒细胞的百分比趋于正常,表明贻贝粗多糖可能通过抗炎作用抑制部分器官肿胀,还通过修复环磷酰胺对免疫器官损伤,增强细胞免疫的作用。环磷酰胺诱导精子畸变和微核率升高,补充高剂量的贻贝粗多糖能降低微核率和精子致畸率,说明贻贝粗多糖能缓解环磷酰胺导致的遗传毒性和生殖毒性。该研究探明了贻贝粗多糖对免疫抑制小鼠免疫功能的作用,为开发贻贝粗多糖免疫调节剂提供了理论参考。

表 6 贻贝粗多糖对免疫抑制小鼠畸变精子的影响

Table 6 Effects of mussel crude polysaccharides on the sperm aberration rate in immunosuppression mice

序号 No.	组别 Group	畸变精子数 Aberrant sperm count 个	精子总数 Total sperm count//个	畸变率 Distortion rate//%
1	对照组	17	232	7.32
2	模型组	48	318	15.09
3	贻贝粗多糖组	13	192	6.77
4	低剂量试验组	35	286	12.24
5	高剂量试验组	19	226	8.41

参考文献

- [1] WU F F, HUANG H H. Surface morphology and protective effect of *Hericium erinaceus* polysaccharide on cyclophosphamide-induced immunosuppression in mice [J/OL]. Carbohydrate polymers, 2021, 251 [2020-11-15]. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116930>.
- [2] MARKEY K A, KUNS R D, BROWNE D J, et al. *In vivo* expansion of recipient DC leads to deletion of donor alloreactive CD8⁺ T cells and is an alternative to post-transplant cyclophosphamide for the prevention of graft-versus-host disease after BMT [J/OL]. Blood, 2017, 130 [2020-11-17]. https://doi.org/10.1182/blood.V130.Suppl_1.4443.4443.
- [3] XIE J, NIE S, YU Q, et al. Lactobacillus plantarum NCU116 attenuates cyclophosphamide-induced immunosuppression and regulates Th17/Treg cell immune responses in mice [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2016, 64(6): 1291-1297.
- [4] WEI X J, HU T J, CHEN J R, et al. Inhibitory effect of carboxymethyl-pachyman on cyclophosphamide-induced oxidative stress in mice [J]. International journal of biological macromolecules, 2011, 49(4): 801-805.
- [5] 张曦文, 李乐乐, 江素鑫, 等. 环磷酰胺生殖毒性的研究进展 [J]. 中国研究型医院, 2018, 5(1): 27-32.
- [6] 李喜泉, 杨巍巍, 李淑珍. 食物中活性成分对机体的免疫调节作用研究进展 [J]. 沈阳医学院学报, 2020, 22(3): 277-280, 288.
- [7] 侯重文, 朱梓昂, 张金华, 等. 高效凝胶色谱法测定贻贝多糖含量及分子量 [J]. 中国生化药物杂志, 2016, 36(11): 9-12.
- [8] 姚莹, 魏江洲, 王俊, 等. 厚壳贻贝多糖的提取和免疫学活性研究 [J].

(上接第 167 页)

- [12] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [13] 任轶, 李瑞霞, 艾昊, 等. 减施肥条件下木霉 SQR-T037 微生物肥对黄瓜产量、品质及养分利用效率的影响 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2): 143-146.
- [14] 王东升, 戎茸, 吴旭东, 等. 不同施肥处理对黄瓜生长及产量的影响 [J]. 中国瓜菜, 2019, 32(11): 37-42.
- [15] 何梅琳, 田雪, 江杰, 等. 基于海带渣制备的叶面肥对彩椒和茭白生长和品质的影响 [J]. 江苏农业学报, 2020, 36(3): 675-680.
- [16] 沈虹, 王磊, 苗艳, 等. 海藻渣对菠菜生长和品质的影响 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 196-200.
- [17] 韦增辉, 潘运舟, 王雨阳, 等. 不同原料商品有机肥对土壤肥力性状及

- 第二军医大学学报, 2005, 26(8): 896-899.
- [9] 李孟婕, 范秀萍, 吴红棉, 等. 翡翠贻贝粗多糖降血脂作用的研究 [J]. 食品科学, 2012, 33(1): 257-261.
- [10] 李季桐. 基于“肠道菌群-肠-肝轴”探究贻贝多糖对 NAFLD 的药效及作用机理 [D]. 济南: 山东大学, 2019.
- [11] 张旭, 费红军, 杨立峰, 等. 紫贻贝粗多糖提取物对小鼠免疫相关因子的影响 [J]. 营养学报, 2011, 33(5): 497-501.
- [12] 吴雅清, 许瑞安. 降血脂多糖的研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(17): 3451-3459.
- [13] 张慧娟, 黄连燕, 尹梦, 等. 燕麦多肽降血糖功能的研究 [J]. 食品工业科技, 2017, 38(10): 360-363, 384.
- [14] 王润东, 孙力军, 王雅玲, 等. 副溶血性弧菌 ATCC33847 在五种食品中代谢产物的溶血活性及对小鼠脏器的毒性差异 [J]. 现代食品科技, 2016, 32(8): 48-53.
- [15] 谢俊华, 聂少平, 丁翹, 等. 植物乳杆菌 NCU116 发酵胡萝卜浆对免疫抑制小鼠肠道黏膜免疫的影响 [J]. 食品科学, 2015, 36(21): 201-206.
- [16] 林帅, 陈孟毅, 刘冰, 等. 环磷酰胺对不同年龄小鼠免疫细胞损伤及修复作用的影响 [J]. 中国医药导报, 2016, 13(36): 8-13, 35.
- [17] 谷巍, 孙明杰, 王丽荣, 等. 4 味常见中药对免疫抑制小鼠免疫功能及肠道菌群的影响 [J]. 中国畜牧兽医, 2019, 46(1): 147-156.
- [18] 张乔, 姜苏洋, 吕航, 等. 参苓水煎液对免疫抑制小鼠免疫调节作用的研究 [J]. 中医药信息, 2018, 35(6): 8-11.
- [19] ZHANG H H, YU R J, LIU X F, et al. The expression of PAC1 increases in the degenerative thymus and low dose PACAP protects female mice from cyclophosphamide induced thymus atrophy [J]. Peptides, 2012, 38(2): 337-343.
- [20] LIU B, YANG Z F, BO L, et al. Cytotoxic effects, inflammatory response and apoptosis induction of cyclophosphamide in the peripheral blood leukocyte of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Fish & shellfish immunology, 2019, 93: 174-182.
- [21] 姚丽文, 周宇芳, 孙继刚, 等. 厚壳贻贝多糖对葡萄糖硫酸钠诱导的结肠炎改善作用研究 [J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(7): 109-115.
- [22] 张立春, 李兆华, 孙福亮, 等. 长白山野杂猪、民猪和大白猪血常规及免疫学指标比较分析 [J]. 中国兽医学报, 2018, 38(1): 171-176.
- [23] LEE Y Y, IRFAN M, QUAH Y, et al. The increasing hematopoietic effect of the combined treatment of Korean Red ginseng and Colla corii asini on cyclophosphamide-induced immunosuppression in mice [J]. Journal of ginseng research, 2021, 45(5): 591-598.
- [24] 相雪莲, 许丹宁, 曹楠, 等. 白术多糖对环磷酰胺诱导的免疫抑制小鼠白细胞数量及功能的修复作用 [J]. 中国兽医杂志, 2020, 56(7): 36-41.
- [25] 付少华, 夏莹, 田洁. 环磷酰胺给予剂量及方式对小鼠骨髓微核率的影响 [J]. 卫生研究, 2016, 45(6): 1018-1019.
- [26] MELEK F R, ALY F A, KASSEM I A A, et al. Three further triterpenoid saponins from *Gleditsia caspica* fruits and protective effect of the total saponin fraction on cyclophosphamide-induced genotoxicity in mice [J]. Zeitschrift für naturforschung C, 2015, 70(1/2): 31-37.
- [27] 贾庆军, 刘天鹏, 郭魁亮, 等. 环磷酰胺对小鼠遗传和生殖毒性影响的研究 (2)——对雄性小鼠生殖细胞的影响 [J]. 白求恩医学院学报, 2006, 4(2): 70-71.
- [28] 史宗勇, 路超, 唐中伟, 等. 转 CP4-EPSPS 基因大豆对大鼠的致突变研究 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 286-288.
- [29] ÇERİBAŞI A O, TÜRK G, SÖNMEZ M, et al. Toxic effect of cyclophosphamide on sperm morphology, testicular histology and blood oxidant-antioxidant balance, and protective roles of lycopene and ellagic acid [J]. Basic & clinical pharmacology & toxicology, 2010, 107(3): 730-736.
- 冬瓜产量的影响 [J]. 热带作物学报, 2019, 40(2): 232-237.
- [18] 黄振瑞, 陈迪文, 吴庚福, 等. 海藻渣对植烟土壤理化性质和烟草生长的影响 [J]. 广东农业科学, 2021, 48(2): 67-74.
- [19] 陆晓民, 孙锦, 郭世荣, 等. 低氧胁迫下 2,4-表油菜素内酯对黄瓜幼苗叶片光合特性及多胺含量的影响 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 140-146.
- [20] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual review of plant physiology, 1982, 33(1): 317-345.
- [21] 张有富, 张爱萍, 马正龙, 等. 沼肥对设施红地球葡萄光合特性及品质的影响 [J]. 经济林研究, 2017, 35(3): 140-146.
- [22] 姚建刚, 牟晓璐, 李涛, 等. 鸡粪发酵提取液对黄瓜生长及品质的影响 [J]. 北方园艺, 2019(14): 48-52.