废菜叶沼渣制备有机肥及其在生菜上的应用效果

张　星，王国栋，万邦隆，肖秋芸，袁加红，杨盛景

（云南云天化股份有限公司 研发中心，云南 昆明　650228）

［摘　要］为实现废菜叶厌氧发酵产生沼气发电过程中产生的沼渣资源化利用，以沼渣为原料，辅以泥炭、烟末、中和液等材料，考察不同配方的物料在发酵过程中温度、有机质含量、碳氮比、EC值的变化情况，并对所得有机肥产品进行大田生菜的肥效试验。结果表明，采用废菜叶沼渣发酵制备有机肥过程中的各项指标较理想，制取的有机肥产品指标符合NY/T 525—2021《有机肥料》标准要求；所制有机肥产品能显著提高生菜生物性状和产量，平均667 m^2产量较空白增加0.37 t，根据生菜市场价格3.0元/kg计算，比空白处理的667 m^2收入增加约1 110元，具有很好的经济效益，为废菜叶沼渣的资源化利用提供了一条路径。

［关键词］废菜叶；沼渣；有机肥；制备；效果

［中图分类号］S141.4　　［文献标志码］A　　［文章编号］2097-4566（2025）01-0091-05

Preparation of organic fertilizer from biogas residue based on waste vegetable leaves and its application effect on romaine lettuce

ZHANG Xing, WANG Guodong, WAN Banglong, XIAO Qiuyun, YUAN Jiahong, YANG Shengjing

(*R & D Center, Yunnan Yuntianhua Co., Ltd., Kunming* 650228, *China*)

Abstract: In order to achieve the resource utilization of biogas residue generated during anaerobic fermentation of waste vegetable leaves for power generation, biogas residue is used as raw material, supplemented with materials such as peat, smoke powder, and neutralizing liquid. The changes in temperature, organic matter content, carbon nitrogen ratio, and EC value of different formulations of materials during the fermentation process are investigated, and the resulting organic fertilizer products are subjected to fertilizer efficiency planting experiments on romaine lettuce in the field. The results show that the various indicators of organic fertilizer prepared from waste vegetable leaves and biogas residue during the fermentation process are ideal, and the indicators of the produced organic fertilizer products meet the requirements of NY/T 525—2021 *Organic Fertilizer*; Organic fertilizer can significantly improve the biological traits and yield of romaine lettuce, with an average yield increase of 0.37 tons per 667 m^2 compared to the blank treatment. According to romaine lettuce market prices of 3.0 RMB Yuan/kg, the income of per 667 m^2 is increased by about 1 110 RMB Yuan compared to the blank treatment, which has good economic benefits and provides a path for the utilization of waste vegetable leaves and biogas residue.

Key words: waste vegetable leaves; biogas residue; organic fertilizer; preparation; effect

0　引言

农业废弃物是指在整个农业生产过程中产生的被丢弃的有机类物质[1]，主要包括农林业生产残余类废弃物、畜牧渔业产生的动物类残余废弃物、农业加工产生的加工类残余废弃物和农村城镇生活垃圾等。通常我们所说的农业废弃物主要指农作物秸秆和畜禽粪便[2]。农林业生产残余类废物的应用途径：一是能源化利用，对粪污进行厌氧发酵处理，生产沼气、生物天然气或发电上网，为农村提供清洁可再生能源；二是肥料化利用[3]，主要包括堆沤熟化制作的农家肥、液态发酵的粪肥、工厂化生产的商品有机肥，最后用到种植业；三是工业化处理，通过生物或工程措施对畜禽养殖污水进行深度处理，实现达标排放或循环利用。

我国每年会有6 000万t养分的农业有机废弃物产生[4]，如果全部还田，至少能节省大约50%的化肥。减少化肥使用量，增加有机肥料使用量，可降

［收稿日期］2024-04-19

［作者简介］张　星(1979-)，男，云南通海人，高级工程师，从事钾盐、新型肥料、有机肥、微生物肥研发及技术创新研究。

低土壤所承受的压力[5]。有机肥料是具有改良土壤、培肥地力、提升土壤养分活力、净化土壤生态环境、提高农产品品质等特性的全营养及功能的绿色肥料[6]。常用有机肥料主要包括农家肥（堆肥、沤肥、厩肥、沼肥、绿肥）、商品有机肥（有机肥料、生物有机肥、有机–无机复混肥、矿物腐植酸有机肥和微生物菌剂）。

废菜叶是在农业种植过程中产生的废弃物，含有95%的水分和一些纤维物质[7]。目前有效的利用方式是菜叶脱水后，作为制备有机肥的原料，或者是菜叶脱水粉碎后进行厌氧发酵产生沼气，然后再利用沼气进行发电，在对废菜叶进行处理的同时产生部分经济效益[8]。昆明市晋宁区蔬菜种植面积较大，每年产生的废菜叶量大，采用废菜叶进行厌氧发酵后的沼渣作为原料制备有机肥，不仅可以处理农业废弃物，而且可以产生经济效益。开展废菜叶沼渣制备有机肥研究，在处理废菜叶厌氧发酵制备沼气发电的同时，把剩下的废菜叶沼渣制备成有机肥，可以形成废菜叶闭环利用，不仅不污染环境，而且废菜叶沼渣制成肥料还田，可以提高土壤中有机质的含量，改良土壤的团粒结构和理化性能，为以后大规模推广应用奠定基础。

1　实验部分

1.1　实验原料

废菜叶沼渣来自昆明滇清生物科技发展有限公司。昆明市周边蔬菜种植基地会产生大量的废菜叶，把废菜叶收集后，对菜叶进行粉碎、脱水，然后进行厌氧发酵，产生沼气和沼渣。泥炭粉来自晋宁周边，烟末来自卷烟厂废弃边角料。有机物料腐熟剂来自济宁金益菌生物科技有限公司，有效活菌数≥200亿/g，用量0.2 kg/t。有机肥生产原料理化性质如表1所示。

表1　原料理化性质

Table 1　Physical and chemical properties of raw material

原料	$w(H_2O)$/%	pH	w(有机质)/%	w(全碳)/%	w(全氮)/%	w(C)/w(N)
泥炭	60	5.27	37.9	21.78	0.63	34.57
烟末	10	4.80	60.0	34.48	1.30	26.53
沼渣	65	7.30	53.0	30.46	1.64	18.57
中和液	45	5.00	60.0	34.48	1.20	28.74

1.2　实验配方

根据有机肥堆肥工艺，设定物料水分、w(C)/w(N)、w(C)/w(P)、pH、通透性、养分等参数，使原料在堆肥过程中，微生物能够快速生长。物料搭配的基本原则是水分高的物料和水分低的物料进行混合，高碳与低碳含量的物料进行混配，调节堆肥$w(H_2O)$在55%～60%，w(C)/w(N)在25～30。实验配方见表2。1#至5#配方采用500 kg的小堆，进行配方验证实验。6#至7#配方是在小试结果的基础上，筛选出最优物料配比，然后优选堆肥原料配方，采用2 t的堆体进行放大中试。堆体呈现条状，小堆长2.00 m、宽1.40 m、高0.45 m，大堆长5.0 m、宽2.5 m、高1.2 m。中试的目的是通过放大堆肥实验，获得工业化生产的配比和工艺参数数据，为工业化生产提供参考。

表2　有机肥实验配方

Table 2　Organic fertilizer experimental formula　%

配方	w(泥炭)	w(烟末)	w(沼渣)	$w(H_2O)$①
1#	20	40	40	4
2#	20	60	20	8
3#	60	30	10	4
4#	60②	30	10	2
5#	40	30	20	1
6#	50	30	20	
7#	40	40	20	

注：①加水量占总固体物质量分数；②包括3%尿素。

1.3　实验方法

1.3.1　堆肥发酵

先把泥炭、沼渣进行暴晒，完成水分去除和微生物消杀，再用粉碎机把泥炭粉碎。按照表2的原料配方把原料混合均匀。然后按质量比例称取0.2%的腐熟剂，加入5 kg的自来水搅拌混匀，加入20 kg混拌均匀的发酵原料，混合均匀后，加入堆体原料中。采取人工翻堆的形式补充氧气。堆体温度为55～65 ℃时每3 d翻堆一次，65～70 ℃时每2 d翻堆一次，超过70 ℃立即翻堆，高温发酵周期维持15 d左右；至堆体温度小于35 ℃且趋于稳定的时候，发酵结束，此时发酵料颜色呈褐色，团粒疏松无结块、无臭味。

1.3.2　肥效试验设计

种植品系意大利生菜，此次种植采用移苗定植的方法。在丰产栽培管理措施如耕作、排灌、良种、密度、防治病虫鼠害等一致的前提下，采用随机区组排列试验设计，设5个处理、1个空白对照，每个处理3次重复，试验总面积360 m^2，分为18个小区，每个小区面积20 m^2。有机肥作为底肥进行施用，每667 m^2施用量为500 kg，生菜定植后，每隔10 d进行一次肥料喷施，一共追施2～3次，

所用肥料主要为复合肥，每667 m²施用量为40 kg。

1.3.3　指标测定

在发酵过程中，每隔1 d定时将温度传感器插入堆体测量温度，小堆插入深度为20 cm，大堆插入深度约50 cm，记录堆体温度。小堆测量点位为堆体中心，大堆测量点分为5个点。

有机肥料产品的主要指标包括总养分、有机质、pH和重金属含量。全氮采用全量蒸馏滴定法测定（NY/T 525—2021《有机肥料》）；全磷采用分光光度法测定（NY/T 2541—2014《肥料　磷含量的测定》）；全钾采用火焰光度法测定（NY/T 2540—2014《肥料　钾含量的测定》）；有机质采用重铬酸钾容量法检测（NY/T 525—2021《有机肥料》）；pH采用pH酸度计检测（NY/T 525—2021《有机肥料》）；重金属含量采用电感耦合等离子体发射光谱法（ICP）检测。

2　结果与讨论

2.1　小堆堆肥温度变化、EC值和碳氮比

小堆堆肥随着堆肥时间增加堆体温度的变化见图1。从图1中可以看出，在堆肥5 d的时候，5个堆体的温度和环境温度相近，没有明显升高。此后，随着堆肥时间延长，堆肥温度快速上升，在堆肥9 d时均上升到50 ℃以上。到堆肥10 d左右的时候，温度上升到了最高，5个配方堆体的温度排序为2#>1#>5#>3#>4#。之后堆体发酵温度维持在50 ℃以上，高温持续3 d左右，然后堆体温度开始下降。发酵15 d的时候，进行了移堆，把底部的原料和表面原料进行翻拌。除了4#实验堆以外，其余实验堆温度有小幅度升高，但是持续时间不长。堆肥25 d以后，堆体温度回落至室温，发酵结束。从配方来看，2#堆体的发酵温度最高，其中w（烟末）为60%，相比其余配方占比最高，说明烟末的加入量增多有利于提高发酵速率和堆体温度，缩短发酵时间，改善发酵过程。

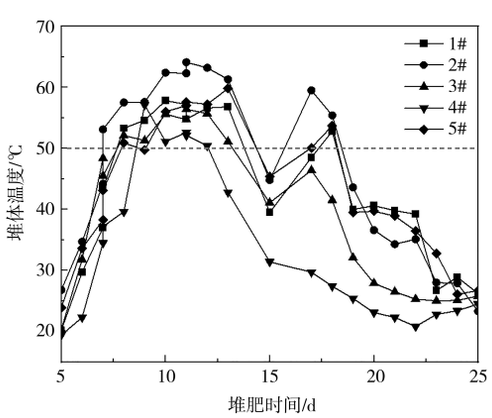

图1　小堆堆肥堆体温度随时间的变化

Fig. 1　Temperature change of small pile compost with time

小堆堆肥发酵完成后的堆体EC值和w(C)/w(N)的检测结果见图2。从图2中可以看出，1#到5#堆体的EC值逐渐增大，但是都小于1.2 mS/cm。5#堆体的EC值最大；5个小堆的w(C)/w(N)都小于18，说明发酵达到终点，且EC值较低。土壤EC值过高或过低都会阻碍农作物的生长，不同农作物需肥规律与生长阶段不同，土壤EC值也不尽相同，一般在0.4～1.5 mS/cm。小堆堆肥的EC值在0.893～1.172 mS/cm，和土壤的EC值接近。说明堆肥发酵充分，腐熟完全，适合农作物生长，无毒害作用。

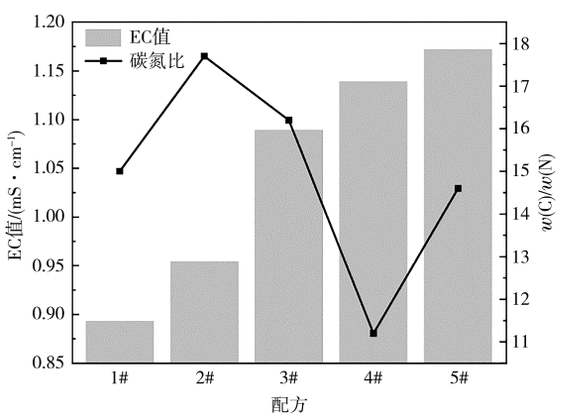

图2　小堆堆肥发酵完成后堆体EC值和w(C)/w(N)

Fig. 2　EC value and w(C)/w(N) of small pile compost after fermentation

7个发酵实验堆肥成分检测结果见图3。从图3可以得出，7个有机肥的w（有机质）都大于55%，w（总养分）都大于7%，w(H_2O)在25%左右，产品符合NY/T 525—2021标准要求。

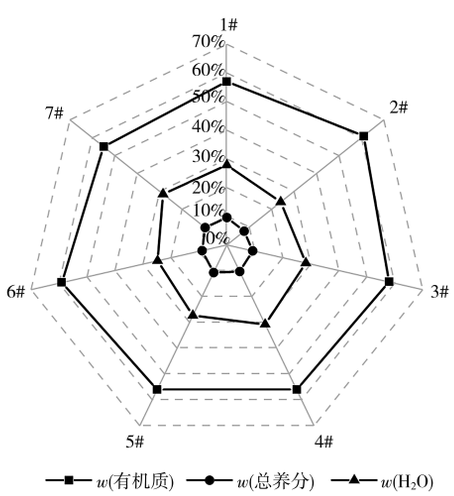

图3　发酵结束时有机肥指标

Fig. 3　Organic fertilizer index content after fermentation

2.2 中试大堆堆肥温度变化

6#、7#配方中试试验堆体温度变化情况分别见图 4、图 5。从图 4、图 5 中可以看出，两个堆体的发酵周期都在 55 d 左右。7#堆体的最高温度比 6# 高，7#、6#堆体发酵温度高于 40 ℃以上的天数分别为 40 d、33 d。说明 7#堆体的高温持续时间较长，腐熟较为充分。7#堆体 w（烟末）为 40%，相比 6#堆体高出 10 百分点，6#堆体的 w（泥炭）比 7# 堆体高 10 百分点，进一步证明了烟末中含的有机质容易让腐熟微生物利用，微生物在堆肥过程中大量繁殖，造成堆肥温度升高更快，温度更高，高温持续更长，有机肥腐熟更为彻底，用肥安全性高。

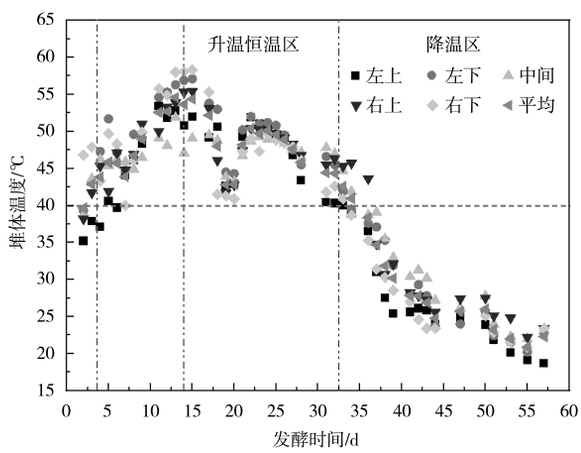

图 4 6#堆体温度随时间的变化

Fig. 4 Temperature change of 6 # reactor body with time

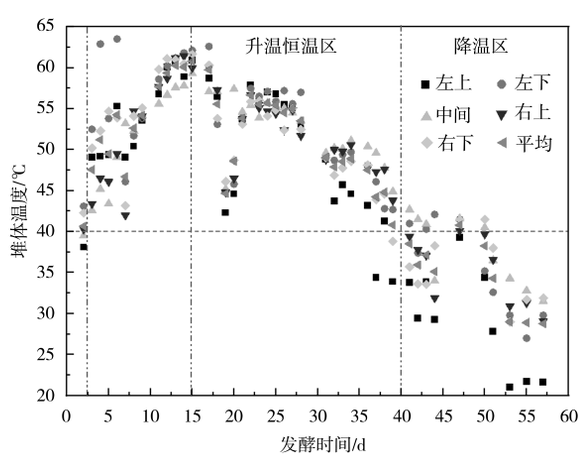

图 5 7#堆体温度随时间的变化

Fig. 5 Temperature change of 7# reactor body with time

2.3 有机肥在生菜上的农化效果

施用不同配方有机肥对生菜冠幅性状的影响见表 3。由表 3 可以看出，6#配方+海藻酸处理单株生菜毛质量和单株净质量在所有处理中最高，分别为 672 g 和 435 g，较对照（CK）分别提高 14.1% 和 10.7%；其次是 7#配方+海藻酸处理，生菜单株毛质量和单株净质量分别为 667 g 和 431 g，较对照（CK）分别提高 13.2% 和 9.7%；再次是 7#配方处理，单株毛质量和单株净质量分别为 665 g 和 429 g，较对照（CK）分别提高 12.9% 和 9.2%；6#配方处理单株毛质量和单株净质量最小，分别为 598 g 和 407 g，较对照（CK）分别提高 1.5% 和 3.6%。7#配方+海藻酸处理冠长和冠宽均最大，均高于对照和其他处理，分别为 17.2、17.7 cm；不同配方有机肥用量对冠幅指数的影响并不明显，冠幅指数均在 0.95 ~ 0.97，冠幅形状为近圆形，证明市场卖相较好。

表 3 不同配方有机肥对生菜冠幅性状的影响

Table 3 The effect of different formulations of organic fertilizers on the crown width traits of lettuce

处理	单株毛质量/g	单株净质量/g	冠长/cm	冠宽/cm	冠幅指数
CK	589	393	14.8	15.6	0.95
6#	598	407	14.3	15.5	0.92
7#	665	429	15.6	16.3	0.96
6#+海藻酸	672	435	16.2	16.7	0.97
7#+海藻酸	667	431	17.2	17.7	0.97

不同配方有机肥对生菜经济效益的影响见表 4。不同配方有机肥用量对生菜产量和经济效益的影响较为明显，由表 4 可知，施用 6#配方+海藻酸有机肥的处理 667 m^2 产量最高，为 3 213.45 kg，较 CK 增加 19.88%，667 m^2 经济效益为 9 640.35 元；其次是 7#配方+海藻酸有机肥处理，667 m^2 产量为 3 063.60 kg，相对于 CK 增加 14.29%。整体而言，据估算，试验有机肥 667 m^2 平均产量为 3.05 t，空白处理 667 m^2 产量为 2.68 t，根据生菜市场价格 3.0 元/kg 预算，667 m^2 收入比空白处理增加约 1 110 元，具有很好的经济效益。

表 4 不同配方有机肥对生菜经济效益的影响

Table 4 The impact of different formulations of organic fertilizers on the economic benefits of lettuce

处理	小区净产量/kg	折合 667 m^2 产量/kg	较 CK 增产/%	667 m^2 经济效益/元
CK	80.50	2 680.65		8 041.95
6#	87.50	2 913.75	8.70	8 741.25
7#	90.00	2 997.00	11.80	8 991.00
6#+海藻酸	96.50	3 213.45	19.88	9 640.35
7#+海藻酸	92.00	3 063.60	14.29	9 190.80

3 结论

利用废菜叶沼渣与泥炭、烟末进行堆肥制备有机肥，能优化发酵进程，加快启动升温，打破传统

发酵升温启动慢的难题，长时间保持高温，缩短发酵时间外，还能快速分解有机质，改土养地，显著提高土壤有机质、全氮、磷、钾含量，延长肥效，能显著提高农作物生物性状，提高农作物产量，提高经济效益，也为废菜叶沼渣的利用提供了一条路径。

通过发酵堆肥生产的有机肥，在大田生菜种植中进行了肥效试验，从生物性状上来看，7#配方处理，单株毛质量和单株净质量分别为665 g和429 g，较对照（CK）分别提高12.9%和9.2%；6#配方处理单株毛质量和单株净质量最轻，分别为598 g和407 g，较对照（CK）分别提高1.5%和3.6%。整体而言，据估算，试验有机肥667 m^2平均产量为3.05 t，空白处理667 m^2产量为2.68 t，按市场价格3.0元/kg预算，比空白处理667 m^2收入增加约1 110元，具有很好的经济效益。

［参考文献］

［1］ 刘冉，董莎，姚志超，等.黑木耳菌糠有机肥的制备及肥效研究[J].东北农业科学，2018，43(6)：20-24.
LIU R，DONG S，YAO Z C，et al. Preparation and Efficiency Study of Organic Fertilizer from Black Fungal Fungi and Fungi Residue[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences，2018，43(6)：20-24.

［2］ 韩明丽，黄奇.利用菌渣和畜禽粪便堆制生产有机肥的试验[J].浙江农业科学，2021，62(3)：621-622.
HAN M L，HUANG Q. Experiment on the production of organic fertilizer using bacterial residue and livestock manure heap[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences，2021，62(3)：621-622.

［3］ 赵雪淞，杨晨曦，冯良山，等.膨润土与肥料配施对土壤生化特性和微生物数量的影响[J].中国土壤与肥料，2020(5)：183-188.
ZHAO X S，YANG C X，FENG L S，et al. The Effect of Bentonite and Fertilizer Combination on Soil Biochemical Characteristics and Microbial Quantity[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China，2020(5)：183-188.

［4］ 丘献娟，卢玉文，王宁，等.毛木耳菌渣与工业铸造废粉制作有机肥肥效初探[J].食用菌，2024，46(1)：85-88.
QIU X J，LU Y W，WANG N，et al. Preliminary Study on the Effect of Organic Fertilizer Production from Auricularia Fungus Residue and Industrial Casting Waste Powder[J]. Bacterial Residue Utilization，2024，46(1)：85-88.

［5］ 韩利红，何余勇，尹健康，等.烟草废弃物发酵制取有机肥及其在柑橘生产上的应用效果[J].肥料与健康，2023，50(6)：53-57.
HAN L H，HE Y Y，YIN J K，et al. Fermentation of Tobacco Waste to Produce Organic Fertilizer and Its Application Effect in Citrus Production[J]. Fertilizer & Health，2023，50(6)：53-57.

［6］ 许淑妮，冯晓璐，陈延玲，等.添加玉米秸秆对胡萝卜尾菜堆肥过程的影响[J].农业工程学报，2023，39(11)：230-237.
XU S N，FENG X L，CHEN Y L，et al. The effect of adding corn stalks on the composting process of carrot tail vegetables[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2023，39(11)：230-237.

［7］ 刘歆，陈群，邱玉朗，等.鸡粪堆肥含氮和含硫废气产生机制及控制技术研究进展[J].中国畜牧兽医，2023，50(5)：2166-2174.
LIU X，CHEN Q，QIU Y L，et al. Research progress on the mechanism and control technology of nitrogen and sulfur-containing waste gas generation in chicken manure composting[J]. China Animal Husbandry and Veterinary Medicine，2023，50(5)：2166-2174.

［8］ 崔哲铭，刘艳梅，罗丽，等.鸡粪资源利用技术研究进展[J].中国家禽，2022，44(4)：83-89.
CUI Z M，LIU Y M，LUO L，et al. Research progress on utilization technology of chicken manure resources[J]. China Poultry，2022，44(4)：83-89.

（上接第63页）

spectrophotometers of different resolution[J]. Journal of Plant Physiology，1994，144(3)：307-313.

［20］ CRITCHLEY A T，CRITCHLEY J S C，NORRIE J，et al. Perspectives on the global biostimulant market：applications，volumes，and values，2016 data and projections to 2022[M]// SHUBHPRIYA G，JOHANNES V S. Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development. Cambridge：Academic Press，2021：289-296.

［21］ MANNAN M A，YASMIN A，SARKER U，et al. Biostimulant red seaweed（*Gracilaria tenuistipitata* var. liui）extracts spray improves yield and drought tolerance in soybean[J]. Peer J，2023，11：15588.

［22］ SHAHRAJABIAN M H，CHASKI C，POLYZOS N，et al. Biostimulants application：A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables[J]. Biomolecules，2021，11(5)：698.

［23］ 苗钧魁，张雅婷，张圣国，等.不同工艺海带提取物中植物激素和海藻酸寡糖的比较研究[J].南方水产科学，2022，18(2)：142-149.
MIAO J K，ZHANG Y T，ZHANG S G，et al. Comparative research of plant hormones and alginate oligosaccharides in seaweed extracts by different processing methods[J]. South China Fisheries Science，2022，18(2)：142-149.

［24］ HABEEBULLAH S F K，ALAGARSAMY S，SATTARI Z，et al. Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from brown seaweeds and characterization[J]. Journal of Applied Phycology，2020，32(1)：615-629.

［25］ 刘旋，佟昊阳，田礼欣，等.外源海藻糖对低温胁迫下玉米幼苗根系生长及生理特性的影响[J].中国农业气象，2018，39(8)：538-546.
LIU X，TONG H Y，TIAN L X，et al. Effect of exogenous trehalose on growth and physiological characteristics of maize seedlings under chilling stress[J]. Chinese Journal of Agrometeorology，2018，39(8)：538-546.

［26］ MAMEDE M，COTAS J，BAHCEVANDZIEV K，et al. Seaweed polysaccharides in agriculture：a next step towards sustainability[J]. Applied Sciences，2023，13(11)：6594.