优化施肥配施海藻酸有机水溶肥在温室黄瓜上的减肥增效研究

陈　娟[1]，范珊珊[1]，雷伟伟[2]，高　飞[1]，于跃跃[1]，郭　宁[1]

（1. 北京市耕地建设保护中心，北京　100001；2. 昌平区农业技术推广站，北京　102200）

［摘　要］以黄瓜为试验材料，采用田间试验研究方法，设置常规施肥（FP）、优化施肥（OPT）和优化施肥配施海藻酸有机水溶肥（OPT-1）3个处理，研究优化施肥配施海藻酸有机水溶肥对温室黄瓜产量、品质、养分吸收、土层硝态氮残留及经济效益的影响。结果表明，与FP、OPT处理相比，在化肥纯养分N、P_2O_5、K_2O分别节肥17.2%～61.6%、18.4%～69.0%、16.9%～58.6%的情况下，OPT-1处理增产17.2%～20.9%；w（可溶性糖）、w（维生素C）、w（可溶性蛋白）分别提高31.5%～37.5%、3.3%～6.7%和8.3%～12.7%，w（硝酸盐）显著降低8.0%～9.1%；黄瓜植株和果实氮素吸收量分别增加了12.5%～25.4%和4.6%～5.4%；0～20 cm和20～40 cm土层w（硝态氮）分别降低32.3%～43.8%和37.3%～65.0%；经济效益分别提高了15.3%～22.1%。

［关键词］温室黄瓜；海藻酸；优化施肥；减肥增效

［中图分类号］TQ44；S147.2　　［文献标志码］A　　［文章编号］2097-4566（2024）08-0071-005

Fertilizer reduction and efficiency enhancement of optimized fertilization combined with alginate organic water-soluble fertilizer on greenhouse cucumber

CHEN Juan[1], FAN Shanshan[1], LEI Weiwei[2], GAO Fei[1], YU Yueyue[1], GUO Ning[1]

（1. *Beijing Cultivated Land Construction and Protection Center, Beijing* 100001, *China*;
2. *Changping District Agricultural Technology Extension Station, Beijing* 102200, *China*）

Abstract: Using cucumber as the experimental material and using field experimental research methods, three treatments are set up: conventional fertilization (FP), optimized fertilization (OPT), and alginate organic water-soluble fertilizer (OPT-1). The effects of optimized fertilization combined with alginate organic water-soluble fertilizer on greenhouse cucumber yield, quality, nutrient absorption, soil nitrate nitrogen residue, and economic benefits are studied. The results show that compared with FP and optimized fertilization treatments, optimized fertilization combined with application of alginate treatment saved 17.2%-61.6%, 18.4%-69.0%, 16.9%-58.6% of N, P_2O_5, K_2O, respectively, and increased fruit yield by 17.2%-20.9%; increased fruit soluble sugar content by 31.5%-37.5%, VC content by 3.3%-6.7%, and soluble protein content by 8.3%-12.7%, and reduced nitrate content by 8.0%-9.1%, respectively; Increased straw and fruit nitrogen uptake by 12.5%-25.4% and 4.6%-5.4%, respectively; Decreased nitrate nitrogen content by 32.3%-43.8%, 37.3%-65.0% in 0-20 cm and 20-40 cm soil layers, respectively; Improved economic benefits by 15.3%-22.1%.

Key words: greenhouse cucumber; alginate; optimize fertilization; weight loss and increased effectiveness

黄瓜是设施蔬菜生产中的主要作物之一，在北京市种植面积不断增加，2020年种植面积达到北京市蔬菜播种总面积的5.6%。但在温室黄瓜生产过程中，种植户由于缺乏专业知识及过于追求高产带来的收益，过量施肥问题仍普遍存在。设施黄瓜过量施肥不仅增加了生产成本，导致化肥利用率低，黄瓜产量和品质降低，而且造成土壤养分大量盈余和严重的环境污染[1]。因此，如何优化施肥管理策略，以及通过研发肥料新产品在优化施肥的基础上进一步合理减少化肥用量，提高化肥利用率一直是广泛关注的问题。

农业生产减肥增效的重要手段之一是增施肥料增效物质，如腐植酸类、氨基酸类、海藻酸类物质

［收稿日期］2023-07-21；［修回日期］2024-04-25

［作者简介］陈　娟(1987-)，女，安徽宣城人，高级农艺师，从事作物科学施肥与耕地质量提升技术研究工作。E-mail:qficj@163.com

［通信作者］郭　宁(1981-)，男，山东东营人，正高级农艺师，主要从事耕地质量提升技术研究工作。E-mail:870101485@qq.com

等。其中海藻酸类物质含有海藻多糖类、氨基酸类及其衍生物和植物激素类等多种生物活性物质，能满足多种农作物需求，广泛应用于农业生产中。海藻酸不仅可以改良土壤结构，改善土壤微生物环境，促进养分吸收，增加农作物产量，提升果实品质[2]，而且可以提高肥料利用率，减少化肥用量。苹果施用海藻提取物可提高坐果率、果实数量、果实质量等[3]。但关于海藻酸在温室黄瓜上的应用效果，特别是化肥减量增效中的效果评价鲜有报道。本研究以黄瓜为研究对象，比较农户常规施肥、优化施肥及优化施肥减少化肥20%的条件下增施海藻酸有机水溶肥对黄瓜生长、产量、品质、养分吸收、土层硝态氮含量及经济效益的影响，以期为进一步优化黄瓜科学施肥技术提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在北京市密云区密云菜园合作社进行。供试地土壤为壤土，0～20 cm 土层 w（有机质）12.17 g/kg、w（碱解氮）333 mg/kg、w（速效磷）178.9 mg/kg、w（速效钾）604 mg/kg、w（铵态氮）22.1 mg/kg、w（硝态氮）112.5 mg/kg。

1.2 试验材料

供试黄瓜品种为“中农26号”，种植密度为45 000株/hm^2。供试肥料为商品有机肥、水溶肥（26–12–12）、水溶肥（22–6–24）、水溶肥（20–5–30）、沃家福海藻酸有机水溶肥 ρ（有机质）≥120 g/L，ρ（Fe+Mn+Zn+B）10～30 g/L，ρ（水不溶物）≤20 g/L，pH 6.5～8.5）。

1.3 试验设计

试验设计3个处理，分别为FP（常规施肥）、OPT（优化施肥）、OPT–1（优化减量20%+海藻酸有机水溶肥）。各处理商品有机肥品种及用量一致，于定植前一次性施入。水溶肥采用滴灌方式，各处理施肥情况见表1。

表1 各处理不同时期施肥量

Table 1 Amount of fertilizer applied in different treatment periods

试验处理	定植前基肥/(t·hm^{-2})		苗期+花期/(kg·hm^{-2})			结瓜期追肥/(kg·hm^{-2})			化学养分用量/(kg·hm^{-2})		
	品种	用量	配方	用量	次数	配方	用量	次数	N	P_2O_5	K_2O
FP	商品有机肥	30	26–12–12	300	2	20–5–30	1 860	11	450	129	594
OPT	商品有机肥	30	22–6–24	240	4	20–5–30	780	11	209	49	296
OPT–1	商品有机肥	30	22–6–24	192	4	20–5–30	654	11	173	40	246
			海藻酸有机水溶肥	2 000①	4	海藻酸有机水溶肥	11 000①	11			

注：①单位为mL。

1.4 项目测定及方法

1.4.1 土壤指标

土壤采集时间为定植前，土壤pH值，在水土质量比为2.5∶1.0浸提后采用pH计测定；土壤有机质采用重铬酸钾氧化–外加热法测定；碱解氮采用碱解–扩散法测定；土壤有效磷采用0.5 mol/L $NaHCO_3$浸提–钼锑抗比色法测定；土壤速效钾采用1 mol/L醋酸铵–火焰光度法测定；土壤硝态氮采用氯化钙提取–连续流动分析仪测定。

1.4.2 植株生长指标

各小区连续取20株黄瓜，分别用卷尺和游标卡尺测定株高、叶面积和茎粗；利用便携式光合作用测定仪测定叶绿素含量。

1.4.3 产量和果实品质指标

结瓜期统计每个处理每次采收黄瓜的实际产量，在盛瓜期，每个试验小区随机采集5条大小相近的黄瓜测定品质，果实维生素C含量采用2,6–二氯靛酚滴定法测定；硝态氮（硝酸盐）含量采用紫外分光光度法测定；可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定；可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝G–250染色法测定。

1.4.4 植株养分指标

黄瓜及植株养分测定：采用H_2SO_4–H_2O_2消煮，用流动分析仪测定植株和果实氮含量。

1.4.5 肥料偏生产力

肥料偏生产力=施肥区产量／施肥量。

1.5 数据分析

采用Excel 2017软件进行数据处理及图表制作，用SAS软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对黄瓜生长的影响

不同施肥处理对黄瓜生长的影响如图1所示。由图1可知，优化施肥配施海藻酸有机水溶肥处理显著增加了黄瓜株高、茎粗、叶面积和叶绿素含量。OPT–1处理与FP处理和OPT处理相比，株高分别增加了42.6%和29.8%，茎粗分别增加了26.0%和

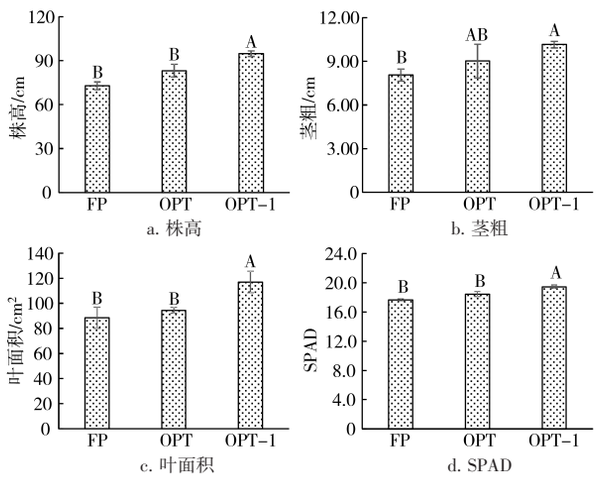

图 1　不同施肥处理对黄瓜生长的影响

Fig.1　Effects of different fertilization treatments on cucumber growth

注：不同大写字母表示处理间差异显著（P<0.01），下同

12.5%，叶面积分别增加了 29.7%和 21.5%，叶绿素含量分别增加 9.5%和 5.0%。与 FP 处理相比，OPT 处理也提高了黄瓜茎粗、株高、叶绿素含量及叶面积，但差异不显著。

2.2　不同施肥处理对黄瓜产量的影响

不同施肥处理对黄瓜产量的影响如图 2 所示。由图 2 可知，OPT−1 处理与 FP 处理和 OPT 处理相比，分别增加黄瓜产量 16.3 t/hm²和 13.9 t/hm²，增产 20.9%和 17.2%。与常规施肥 FP 处理，OPT 优化施肥处理产量增加 2.4 t/hm²，增产 3.1%。由此表明，OPT 处理在肥料用量大幅减少的条件下，产量不减，且实现增产；OPT−1 在优化施肥的基础上，增施海藻酸有机水溶肥，进一步减少化肥用量，与 FP 和 OPT 相比增产，但差异不显著。

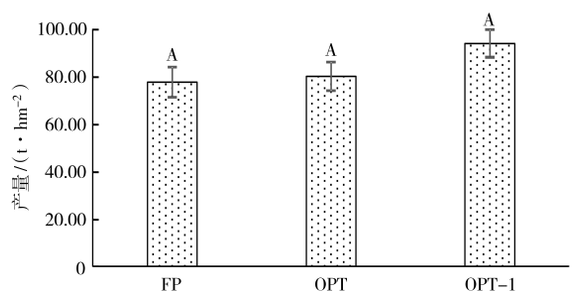

图 2　不同施肥处理对黄瓜产量的影响

Fig.2　Effects of different fertilization treatments on cucumber yield

2.3　不同施肥处理对黄瓜品质的影响

优化施肥配施海藻酸有机水溶肥可以显著提高黄瓜可溶性糖和可溶性蛋白含量，显著降低硝酸盐含量，也可以提高维生素 C，但差异不显著（见表 2）。与 FP 和 OPT 处理相比，OPT−1 处理 w（可溶性糖）分别增加了 37.5%和 31.5%，w（可溶性蛋白质）分别增加了 12.7%和 8.3%，w（维生素 C）分别增加了 3.3%和 6.7%，w（硝酸盐）分别降低了 9.1%和 8.0%。与 FP 处理相比，OPT 处理 w（可溶性糖）增加 4.5%，w（可溶性蛋白）增加 4.1%，w（硝酸盐）降低了 7.8%。

表 2　不同施肥处理的对黄瓜品质的影响

Table 2　Effects of different fertilization treatments or cucumber quality

处理	w（可溶性糖）/%	w（维生素 C）/（mg·kg⁻¹）	w（可溶性蛋白质）/（mg·g⁻¹）	w（硝酸盐）/（mg·kg⁻¹）
FP	0.020 ± 0.002B	1.16 ± 0.17A	1.73 ± 0.05B	9.46 ± 0.05A
OPT	0.021 ± 0.001B	1.12 ± 0.40A	1.80 ± 0.065AB	9.36 ± 0.41A
OPT−1	0.027 ± 0.002A	1.20 ± 0.70A	1.95 ± 0.02A	8.60 ± 0.16B

注：不同大写字母表示处理差异显著（P<0.01），下同

2.4　不同施肥处理对氮素吸收的影响

不同施肥处理黄瓜秸秆和果实对氮素吸收有一定的差异（见图 3），OPT−1 处理黄瓜植株和果实对氮元素吸量均最高，w（N）分别为 29.1 mg/g、46.0 mg/g。与 FP 处理和 OPT 处理相比，OPT−1 处理黄瓜植株和果实氮素吸收量分别增加了 25.4%、5.4%和 12.5%、4.6%，表明海藻酸对氮素吸收有一定的促进作用。

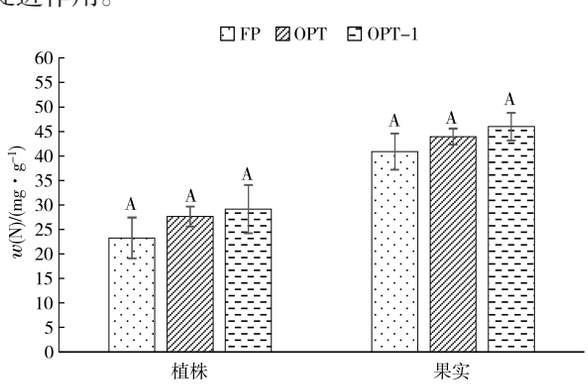

图 3　不同施肥处理对黄瓜氮素吸收的影响

Fig.3　Effects of different fertilization treatments on nitrogen up take of cucumber

2.5　不同施肥处理对土壤硝态氮含量的影响

不同施肥处理的硝态氮在不同深度土壤中的分布特征基本一致（见图 4），0 ~ 20 cm 土层土壤硝态氮含量高于 20 ~ 40 cm。OPT−1 处理与 FP 处理相比差异显著，0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤（硝态氮）分别降低 43.8%和 65.0%。OPT−1 处理与 OPT 处理相比，0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤（硝态氮）分别降低 32.3%和 37.3%。OPT 处理与 FP

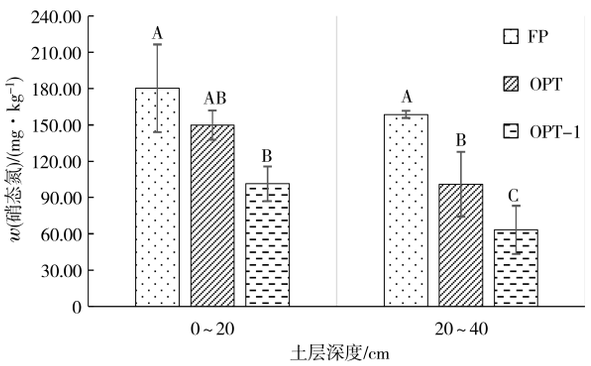

图 4　不同施肥处理对土壤 w(硝态氮）的影响

Fig.4　Effects of different fertilizatior treatments on soil nitrogen content

处理相比，0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤 w(硝态氮）分别降低 16.8%和 36.4%。与播前比，0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤 w(硝态氮）分别降低了 9.4%和 17.2%，表明施肥对耕层土壤速效氮含量提高发挥极大作用。

2.6　不同施肥处理对肥料偏生产力的影响

不同施肥处理对肥料偏生产力的影响如图 5 所示。由图 5 可知，较 FP 处理，OPT 和 OPT–1 处理减少了施肥量，肥料偏生产力得到有效提高，氮肥偏生产力分别提高了 122%、214%；磷肥偏生产力提高了 174%、286%；钾肥偏生产力分别提高了 107%、192%。

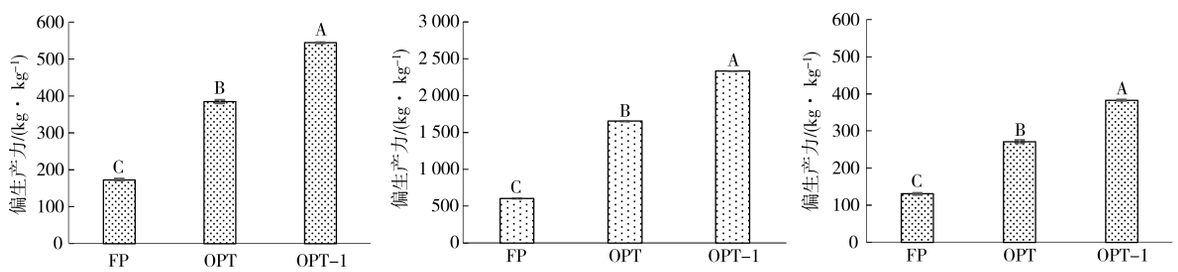

图 5　不同施肥处理肥料偏生产力比较

Fig.5　Comparison of fertilizer partial productivity under different fertilization treatments

2.7　不同施肥处理对经济效益的影响

OPT 和 OPT–1 处理通过增加产量、减少化肥投入，实现了较高的经济效益，其中 OPT–1 效益最大（见表 3）。与 FP 处理相比，OPT–1 处理 N、P_2O_5、K_2O 分别减少了 61.6%、69.0%和 58.6%，经济效益增加了 12.81 万元/hm²，提高了 22.1%；OPT–1 处理与 OPT 处理相比，N、P_2O_5、K_2O 分别减少了 17.2%、18.4%和 16.9%，经济效益增加了 9.39 万元/hm²，提高了 15.3%；OPT 处理与 FP 处理相比，N、P_2O_5、K_2O 分别减少 53.6%、62.0%和 50.2%，经济效益增加了 3.42 万元/hm²，提高了 5.9%。

表 3　不同施肥处理黄瓜经济效益

Table 3　Economic benefit of different fertilization treatments of cucumber　万元/hm²

试验处理	总收入	有机肥成本	水溶肥成本	海藻有机水溶肥成本	净收益	增加收益
FP	62.31	1.80	2.59		57.92	
OPT	64.36	1.80	1.22		61.34	3.42
OPT–1	75.34	1.80	1.02	1.79	70.73	12.81

注：按照有机肥 500 元/t、水溶肥 12 元/kg、海藻有机水溶肥 0.092 元/mL、黄瓜 8 元/kg 计算。

3　讨论

3.1　不同施肥处理对黄瓜生长和产量的影响

与 FP 和 OPT 处理相比，优化施肥配施海藻酸有机水溶肥处理显著增加了黄瓜株高、茎粗、叶面积和叶绿素含量，与前人研究结果一致[4]，这可能与海藻酸含有植物生长所需要的大量和微量元素，还含有植物生长素、细胞分裂素等生长调节物质有关。产量方面，海藻酸有机水溶肥处理在优化施肥基础上进一步减少化肥用量 20%，仍促进黄瓜生长发育，实现增产。首先优化施肥根据温室黄瓜养分吸收规律及土壤养分供应能力设计，并利用水肥一体化和有机肥替代化肥技术，有效提高水肥利用效率，化肥用量有效减少；其次可能由于海藻酸中富含聚阴离子化合物，可以与土壤中的阳离子化合物结合，改善土壤根际微生物环境，有效促进根系生长，促进果实膨大，从而提高产量有关；最后，由于海藻酸富含的微量元素显著增加了叶绿素含量和叶面积，促进了农作物光合作用，提高农作物产量。这与海藻酸肥料在西瓜上、水稻上的研究结果一致，但是海藻酸成分对农作物产量的具体作用还有待进一步研究。

3.2　不同施肥处理对黄瓜品质和氮素吸收的影响

施肥对蔬菜品质影响较大，有研究表明海藻类物质能提高果实品质[5]，本试验也得到了相似的结论，与常规施肥相比，优化施肥配施海藻酸有机水溶肥处理显著提高黄瓜可溶性糖和可溶性蛋白含

量，显著降低硝酸盐含量，也可以提高维生素 C 含量。与于会丽、耿志刚等[6-7]的研究结果一致，海藻提取物对果实品质有提高作用。可能由于海藻添加物中含有氨基酸、活性肽、海藻寡糖等成分，调节土壤理化性质，提高根系活性和吸收能力，促进了植物根系养分吸收，增加黄瓜对有机物的积累，提升果实品质[8]。氮素吸收方面，优化施肥配施海藻酸有机水溶肥处理可以提高黄瓜植株和黄瓜果实的氮素吸收量，这与已有研究在西瓜、玉米、生菜上的研究结果一致[9-11]。推测主要由于海藻酸类物质能提高养分有效性和促进养分吸收，海藻酸中的成分可以活化土壤氮素，从而提高养分吸收率。

3.3　不同施肥处理对土壤硝态氮含量的影响

章明清等[12]研究显示，菜田土壤氮淋失临界指标为 w（硝态氮）76.3 mg/kg，而本试验由于农户连续多年过量施肥，0～20 cm 土层土壤 w（硝态氮）基础值已达到 112.5 mg/kg，超过土壤氮淋失临界值，因此本试验条件下，减少土壤硝态氮累积非常迫切。刘晓彤等[13]研究表明影响土壤硝态氮累积残留的重要因素是氮肥施用量，而施用海藻酸有机水溶肥处理通过测土配方施肥技术合理推荐氮肥用量，同时有机肥替代部分化肥氮肥，减少了氮肥用量，且增施海藻酸提高氮素吸收效率，进一步降低了氮肥用量，与常规施肥相比化肥纯养分 N 减少了 62.3%，大幅减少了化肥氮素投入量，有效降低土壤硝态氮累积。

4　结论

优化施肥配施海藻酸有机水溶肥根据农作物养分需求规律设计，节肥增收效果显著；与习惯施肥相比大幅减少化肥用量，但产量不减，表现增产趋势；且显著提高黄瓜可溶性糖及可溶性蛋白含量，降低硝酸盐含量；同时显著降低土壤硝态氮累积风险。综上所述，优化施肥配施海藻酸有机水溶肥可实现化肥减量增效的目的。

［参考文献］

［1］ WANG X Z, ZOU C Q, GAO X L, et al. Nitrous oxide emissions in Chinese vegetable systems: A meta-analysis[J]. Environmental Pollution, 2018, 239: 375-383.

［2］ KHAN A S, AHMAD B, JASKANI M J, et al. Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (Ascophylum nodosum) extract improve growth and physico-chemical properties of grapes [J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2012, 14 (3): 383-388.

［3］ AYUB R A, SOUSA A M D, VIENCZ T, et al. Fruit set and yield of apple trees cv. Gala treated with seaweed extract of ascophyllum nodosum and thidiazuron[J]. Rev Bras Frutic, 2019, 41 (1): e-072.

［4］ 魏建林，李燕，马宁，等.海藻酸复合肥在夏玉米上的减施效果研究[J].山东农业科学，2020，52(8)：79-84.
WEI J L, LI, MA N, et al. Effect of reducing application of alginate acid compound fertilizer on summer maize[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(8): 79-84.

［5］ SABIR A, YAZAR K, SABIR F, et al. Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (Ascophyllum nodosum) and nanosize fertilizer pulverizations[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 175: 1-8.

［6］ 于会丽，谢宁，徐国益，等.减量化肥配施海藻复合物对葡萄产量、品质和养分吸收的影响[J].果树学报，2022，39(4)：584-592.
YU Huili, XIE Ning, XU Guoyi, et al. et al. Effects of chemical fertilizer reduction combined with seaweed complex application on yield, fruit quality and nutrient absorption of grape[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(4): 584-592.

［7］ 耿志刚，陈铭，张德蒙，等.海藻肥对冷棚甜瓜品质以及产量的影响[J].江西农业，2018(20)：27-30.
GENG Z G, CHEN M, ZHANG D M, et al.Effect of seaweed fertilizer on quality and yield of Muskmelon in Cold shed [J]. Jiangxi Agriculture, 2018(20): 27-30.

［8］ CHEN S K, EDWARDS C A, SUBLER S. The influence of twoagricultural biostimulants on nitrogen transformations, microbial activity, and plant growth in soil microcosms[J]. Soil Biologyand Biochemistry, 2003, 35(1): 9-19.

［9］ 朱迎春，安国林，李卫华，等.海藻酸水溶肥对西瓜生长及产量的影响[J].果树学报，2020，37(12)：1898-1906.
ZHU Y C, AN G L, LI W H, et al. Effects of alginate water soluble fertilizer on growth and quality of watermelon[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(12): 1898-1906.

［10］ 高岩，韩西红，王海朋，等.海藻酸复混肥料对玉米产量及品质的影响[J].南方农业，2020，14(2)：147-149.
GAO Y, HAN X H, WANG H P, et al. Effect of alginate compound fertilizer on yield and quality of maize[J]. South China Agriculture, 2020, 14(2): 147-149.

［11］ 赵鲁.海藻提取物与 Mn、Zn 配施对生菜营养特性的影响[D].北京：中国农业科学院，2008.
ZHAO L. Effects of combined application of seaweed extract with Mn and Zn on nutritional characteristics of lettuce[D].Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008.

［12］ 章明清，姚宝全，李娟，等.福建菜田氮、磷积累状况及其淋失潜力研究[J].植物营养与肥料学报，2014，20(1)：148-155.
ZHANG M Q, YAO B Q, LI J, et al. N and P accumulation status and their leaching potential in vegetable N and P accumulation status and their leaching potential in vegetable[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2014, 20(1): 148-155.

［13］ 刘晓彤，吴涛，赵营，等.减施氮肥与添加秸秆对设施黄瓜-茄子轮作土壤硝态氮累积与淋失的影响[J].中国土壤与肥料，2022(10)：28-33.
LIU X T, WU T, ZHAO Y, et al. Effects of nitrogen reduction and straw addition on soil nitrate accumulation and leaching loss in facility cucumbereggplant rotation [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022(10): 28-33.