

海藻生物肥研究进展与展望

王明鹏¹, 陈 蕾², 刘正一², 秦 松^{2*}, 闫培生^{1,3*}

1. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090;

2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003;

3. 哈尔滨工业大学(威海)海洋科学与技术学院, 山东 威海 264209

摘 要: 海藻及海藻提取物因富含多种植物生长促进因子, 被广泛应用于有机肥料的开发及农产品种植领域。海藻生物肥料与化学肥料相比, 具有安全无毒、全面高效、环境友好等优势, 成为肥料制造领域的热门产品。海藻生物肥料与农作物及土壤的相互作用机理研究也迅速成为学术界关注的焦点。从生产原料、生产工艺、活性成分及产品功效 4 个方面综述了国内外海藻生物肥制造领域的研究进展, 以期为我国海藻生物肥产业提供新的发展思路及方向。

关键词: 海藻肥料; 海藻多糖; 植物激素; 土壤修复

DOI: 10.3969/j.issn.2095-2341.2015.03.02

Progress and Prospect of Seaweed Fertilizer

WANG Ming-peng¹, CHEN Lei², LIU Zheng-yi², QIN Song^{2*}, YAN Pei-sheng^{1*}

1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Shandong Yantai 264003, China;

3. School of Marine Science and Technology, Harbin Institute of Technology at Weihai, Shandong Weihai 264209, China

Abstract: Seaweed and seaweed-derived products have been widely used in organic fertilizer manufacturing and crop production systems due to the presence of a number of plant growth-stimulating compounds. Compared with chemical fertilizer, seaweed fertilizer is nontoxic, high effective and environmental friendly. Hence, seaweed fertilizer has become a popular product in fertilizer field. Studies on interactions of seaweed fertilizer with the crop and the soil community also become the focus of academic research. This article provided a comprehensive review of research progress in seaweed fertilizer manufacturing industry including materials, technology, active components and effects, which was expected to indicate new ideas and directions for seaweed fertilizer industry developing.

Key words: seaweed fertilizer; seaweed polysaccharide; plant hormone; soil remediation

海藻是生长在沿海地区潮间带的低等隐花植物, 作为最原始的生命形态, 藻类生长速度快、结构简单、适应能力强, 整个藻体可充分地被开发利用。海藻不但可供人类食用, 而且也是海藻化学工业、药品工业及海藻胶工业的重要原料^[1]。此外, 海藻中含有大量陆地生物所缺乏的生物活性物质、营养物质及功能成分。这些特性决定了海

藻具有重要的商业开发价值。据统计, 2012 年全世界海藻产量达 2 490 万 t, 其中有相当比例的海藻作为生长促进剂及土壤调节剂被应用于种植领域^[2]。海藻肥含有大量的非含氮有机物、钾、钙、镁、锌、碘等 40 余种矿物质元素和丰富的维生素, 以及海藻所特有的海藻多糖、海藻酸、高度不饱和脂肪酸和多种天然植物生长调节剂, 能够对植物

收稿日期: 2015-04-08; 接受日期: 2015-04-20

基金项目: 威海市科技发展研究计划重点项目(2010-3-96); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAB01B0); 中国科学院科技服务网络计划(KFJ-EW-STS-060)资助。

作者简介: 王明鹏, 博士研究生, 研究方向为海洋生物资源利用。E-mail: wmpdsg@126.com。* 通信作者: 闫培生, 教授, 博士生导师, 研究方向为海洋微生物资源与利用、海洋生物物质及其加工废弃物的高值资源化、有害微生物的生物防治与生物农药、微生物发酵工程与生物制药等。E-mail: yps6@163.com; 秦松, 教授, 博士生导师, 研究方向为海岸带植物资源及应用、海洋微生物技术、海藻分子生物技术和海洋藻类生态等。E-mail: sqin@yic.ac.cn

生长及土壤改善产生有益功效^[3]。随着海藻肥产品的出现,海藻肥日益受到人们的重视和青睐,有关海藻肥的生产及研究也逐渐成为热点。

我国海藻资源丰富,海产养殖业发达,为我国海藻肥产业提供了充足的原材料,是我国海藻肥产业发展的基础。近年来,国家提出海洋强国战略,出台了一系列相关政策文件,大力支持海洋经济发展,科学开发海洋资源,培育海洋优势产业,为海藻肥产业发展提供政策支持。随着对有机农业、绿色农业、无公害农业的意识逐步加强,海藻肥作为一种生态环保高效的新型肥料,能够同时满足农业生产中化学肥料农药减施和保证粮食高产以及对环境友好等各种需求,与化学肥料相比其优势明显,越来越为广大农民所接受,市场广阔、开发潜力巨大。因此,研发高效优质海藻肥,符合国家大力发展海洋经济的发展战略,同时为农业增产增收,解决土壤污染问题提供强有力的保障。本文将从生产原料、生产工艺、活性成分和功效机理4个方面介绍海藻生物肥料领域的研究进展,以期海藻生物肥产业相关的研究与应用提供思路 and 参考。

1 海藻肥生产原料及生产工艺

1.1 海藻肥生产原料

全世界已发现的大型藻类有9 000多种,其中褐藻有2 000多种,是世界上种类第二丰富的海藻^[4]。同时,褐藻富含多种聚合物包括褐藻酸、褐藻糖胶以及海带淀粉等多糖类物质^[5],研究表明该类物质对于植物抗病抗逆及改善土壤有显著作用。目前,海藻肥生产企业所用的原料主要以褐藻为主,包括泡叶藻、昆布、海带和马尾藻等,其他藻类如墨角藻、浒苔、石莼和卡帕藻等也有少数企业在用^[6]。国外海藻肥企业绝大多数使用褐藻为原料,其中尤以泡叶藻应用最为广泛。但我国沿海并没有泡叶藻分布,国内企业采用的原料种类繁杂,品质参差不齐。

据报道^[7],我国已探明的褐藻种类达298种,其中马尾藻有130余种,约占世界马尾藻种类的三分之一,其种类的丰富度居世界首位。我国三大海域中,南海马尾藻属海藻的种类和数量占有绝对优势,达124种,黄、东海较少,仅17种。一些广温性的种类,如铜藻、裂叶马尾藻、鼠尾藻、羊

栖菜和海藻子从黄海西区一直到南海北区都有分布,并且数量较大^[8]。刘雪梅等^[9]分析检测了浙江沿海13种海藻中的9种植物激素,结果表明马尾藻属的铜藻和鼠尾藻激素含量较高,适合作为生产海藻肥的原料。

1.2 海藻肥生产工艺

生产工艺对于产品营养成分含量及活性的影响极大,海藻肥质量的优劣关键在于生产工艺的选择。海藻肥具体生产步骤作为商业机密很少被公开,但大致过程为用水、酸、碱、有机试剂,或者机械的方法处理海藻原料,使其成为精细的小颗粒。一般来说,海藻肥生产工艺包括化学提取工艺、物理提取工艺和生物提取工艺。

化学提取工艺是国内外绝大多数海藻肥生产企业采用的方法,主要是利用酸、碱及有机溶剂处理海藻细胞,使细胞消解或内源物质增溶,该方法操作简单、容易实现,但是化学试剂对海藻细胞内活性物质成分的破坏性很大,并且残留的试剂容易对环境造成潜在的危害。

物理提取工艺主要是利用高压低温冷却工艺达到海藻细胞壁破碎的目的,该方法虽然没有污染,但是对于仪器设备的要求严苛,成本较高,难以实现大规模生产。目前掌握物理提纯技术的企业也是屈指可数,仅有南非的Kelpak公司等。

生物提取工艺是利用微生物发酵过程中产生的多种酶类将海藻大分子物质降解为植物容易吸收利用的小分子物质,该方法反应温和、产物安全环保无污染,最大限度保留了海藻中的生物活性成分和营养物质,是理想的海藻肥生产方法。

2 海藻肥有效成分

2.1 海藻多糖

海藻尤其是褐藻,富含多种陆地植物所缺乏的多糖类物质,如褐藻胶、褐藻糖胶以及海带淀粉等^[10]。褐藻胶是由甘露糖醛酸和古罗糖醛酸两种单体组成的嵌段线型聚合物,具有凝胶、螯合及亲水等特性,可用作土壤调节剂^[11]。另外,褐藻胶在生产过程中因处理方法不同,会降解成不同分子量的片段即褐藻寡糖^[12],具有促生长活性功能^[13,14]。褐藻糖胶是一类成分多变结构复杂的多糖类物质,主要由含硫酸基的岩藻糖构成,并掺杂有少量甘露糖、半乳糖、木糖、葡萄糖醛酸及

蛋白质等成分^[15]。褐藻糖胶能够吸附金属离子,可用于土壤重金属污染的治理。海带淀粉是一种由 β -1,3 糖苷键连接的葡萄糖组成,并在 C6 位置上略带分支的多聚糖链,其结构及化学性质不同于高等植物淀粉,能够诱导植物抗逆反应^[16]。

2.2 植物激素

海藻同高等陆生植物一样,体内存在多种植物激素,如生长素、赤霉素、细胞分裂素和脱落酸等均已在海藻中被发现^[12](表 1)。Stirk 等^[17]利用免疫亲和层析和液质联用技术分析了 3 大门类的 31 种海藻,发现绝大多数海藻中细胞分裂素成

分为玉米素和异戊烯基配合物,此外还有少量苯氨基嘌呤及其衍生物成分。吲哚乙酸及其类似物也是海藻中较为常见的植物激素。Crouch 等^[18]发现商品海藻肥提取物中存在吲哚乙酸成分。在泡叶藻、墨角藻以及其他海藻的碱提取液中也发现了具有生物学活性的吲哚乙酸类似物^[19]。同一种海藻中并不是只存在一种植物激素,Gupta 等^[20]利用液-液萃取及高效液相色谱在石莼中同时检测到脱落酸、赤霉素、细胞激动素以及吲哚乙酸等多种植物激素。

表 1 褐藻体内存在的五大植物激素种类^[12]
Table 1 Classic plant growth hormone (PGH) occurrence in brown seaweeds^[12].

植物激素	属名
生长素	泡叶藻属(<i>Ascophyllum</i>),墨角藻属(<i>Fucus</i>),海带属(<i>Laminaria</i>),巨藻属(<i>Macrocystis</i>),裙带菜属(<i>Undaria</i>)
细胞分裂素	泡叶藻属(<i>Ascophyllum</i>),囊链藻属(<i>Cystoseira</i>),昆布属(<i>Ecklonia</i>),墨角藻属(<i>Fucus</i>),巨藻属(<i>Macrocystis</i>),马尾藻属(<i>Sargassum</i>)
赤霉素	囊链藻属(<i>Cystoseira</i>),昆布属(<i>Ecklonia</i>),墨角藻属(<i>Fucus</i>),幅叶藻属(<i>Petalonia</i>),马尾藻属(<i>Sargassum</i>)
脱落酸	泡叶藻属(<i>Ascophyllum</i>),海带属(<i>Laminaria</i>)
乙烯	未报道

2.3 甜菜碱

甜菜碱广泛存在于海洋藻类以及海藻提取物之中,属于季铵类生物碱,对于藻类抵抗外界环境的不良影响起着重要的作用。赵鹏等^[21]利用液质联用分析检测到海带、长石莼、蜈蚣藻和紫菜 4 种海藻中的甜菜碱。MacKinnon 等^[22]对不同季节采集的褐藻中的甜菜碱进行了检测,结果表明甜菜碱含量受季节影响不大。甜菜碱虽然不属于五大“经典”植物激素,但对植物同样产生多重生物学功效,甜菜碱能够增强植物抵抗干旱、高盐等不良环境的能力,提高植物叶片中叶绿素的含量,增加作物产量^[23,24]。

2.4 甾醇

甾醇类物质广泛存在于植物包括海藻中,是生物细胞的重要组分,其结构特点是具有环戊烷多氢菲环结构。不同海藻中所含的甾醇种类不同,绝大多数红藻以胆甾醇为主要甾醇,绿藻中主要为麦角固醇,而褐藻中则以褐藻甾醇为主^[25~27]。

3 海藻肥的功效及机理

3.1 促进植物生长与健康

3.1.1 促进根的生长发育与矿物吸收 海藻肥施用能够促进植物根系的生长发育,增强植物对矿物营养成分的吸收能力。Anisimov 等^[28]用多种海藻提取液对黑麦种子进行处理,并测量根长发现,实验组与对照组相比根长增长达到 15%以上,且施用很少剂量的海藻提取物便能达到促根生长的效果。Kumar 等^[29]发现马尾藻提取液处理过的小麦能够增加 63%的侧根数目,促进完整根系形成。Rathore 等^[30]通过豌豆对比实验发现喷施海藻水提物的植株吸收营养元素(N、P、K 和 S)能力增强。

3.1.2 促进植株生长及光合效率 有研究显示,施用海藻生物有机液肥能够促进植株生长并提高光合效率。刘培京^[31]对黄瓜、番茄、辣椒 3 种蔬菜种子用不同稀释浓度的海藻生物有机液肥进行浸种处理和盆栽试验,结果表明,稀释 200 倍和

400 倍的海藻生物有机液肥对 3 种蔬菜幼苗生长的根长、株高、株鲜重、株干重、叶绿素含量和叶面积均有显著提高。Pise 等^[32]发现葫芦巴经海藻提取液处理后,幼苗生长及湿重增加显著,并且光合色素、碳水化合物、蛋白质和多酚类物质含量明显增加。

3.1.3 增加果实产量 Kumari 等^[33]以马尾藻提取液作为液体肥料,分别对西红柿做喷施、根施和同时喷施根施 3 种处理,结果表明,3 种处理均能促进西红柿的营养生长及生殖生长,尤其根施处理的植株鲜重、株高、开花数目及果实鲜重增加最为显著。Sridhar^[34]用不同稀释倍数的马尾藻处理花生,发现海藻提取物能够提高花生产量,最高增产 1.4 倍,并且海藻肥和化肥等比例混合使用不仅减少了化肥使用量,还能获得更大产量。

3.2 抵抗环境胁迫及病虫害

环境胁迫如干旱、高盐和温度变化使农作物减产,威胁粮食安全。海藻提取物在减轻不良环境对植物危害方面有很好的效果。研究表明洋苏草在中度缺水条件下,叶绿素含量下降 55%,而经海藻提取物处理后叶绿素含量减少 30%,叶绿素下降趋势明显减弱^[35]。Ibrahim 等^[36]研究了小麦在盐胁迫条件下,海藻提取物处理前后小麦的生长、酶活及蛋白含量变化情况。结果显示,经海藻处理的小麦种子萌发率及植株生物量明显高于对照组,超氧化物歧化酶、过氧化氢酶及抗坏血酸过氧化物酶等酶活增强,并且蛋白电泳显示海藻处理后小麦的总蛋白多出 12 个新的条带。研究者推测这一系列的变化是由海藻提取物引起的减缓高盐胁迫的应激反应。

海藻提取物能够激活植物某些基因及代谢途径,促进植物产生防御性应激反应,释放多种酶类及多酚等功能因子。Jayaraman 等^[37]研究了海藻肥对黄瓜致病真菌的抑制效应,发现喷施海藻肥后能明显减少黄瓜的发病率,叶喷和根施同时使用抑病效果更为明显,同时检测到海藻处理的黄瓜多种酶活性增强且防御基因表达发生变化。Sultana 等^[38]发现海藻肥能够减少向日葵和西红柿根系感染根腐烂真菌的几率,并能有效抑制线虫对根系的附着和渗透。海藻提取物的抑菌抑虫效果与化学杀虫剂相当,将来有望替代化学农药。

3.3 土壤调理及修复

3.3.1 改善土壤结构及保持水土 海藻除了具有直接促进植物生长的功效,还能够影响土壤物理、化学及生物学性质,进而影响植物生长。海藻及海藻提取物能够提高土壤的保水能力并促进有益微生物的生长。褐藻富含褐藻胶等多糖类物质,其螯合及亲水特性能够结合土壤中的金属离子,形成高分子量复合物,并进一步吸水膨胀,使土壤保持水分,改善土壤团粒结构^[39]。这使得土壤透气性增加、土壤孔隙的毛细作用增强进而促进植物根系和土壤微生物生长。此外,有研究报告海藻的多阴离子特性能够修复土壤重金属污染^[40,41]。

3.3.2 促进根际微生物生长 海藻及海藻提取物能够促进根际微生物生长,并诱发微生物分泌土壤调节物质。Alam 等^[42]利用泡叶藻提取物对草莓进行处理,发现海藻提取物能够提高根际微生物的数量和生理活性以及土壤呼吸强度。同样,研究者在对胡萝卜的研究中也得到类似结果^[43]。另外,Zhai^[44]发现海藻提取物能够刺激土壤中根瘤发生菌大量繁殖,促进根瘤形成,增强植物固氮。

4 展望

经过十几年的发展,我国海藻肥产业也已初具规模,但同国外企业相比,国内海藻肥的研制始于 20 世纪 90 年代后期,起步相对较晚,相关研究相对匮乏;海藻精深加工开发利用技术相对落后;应用产品的商业化、产业化发展速度缓慢;致使海藻肥在国内肥料市场的占有率相对较低,缺乏市场竞争力。国内海藻肥企业应从以下几个方面进行反思并开展行动:

首先,要保证海藻原料的品质优良、供应稳定,真正做到以海藻为主要甚至唯一原料进行加工开发,杜绝勾兑冒充的海藻肥产品流入市场。海藻肥生产企业应认真调查海藻原料种类、产量和价格等信息,结合当地实际情况综合考虑加工运输成本,选择合适原料。另外,有条件的企业还可以考虑开展海藻养殖的研究,建立海藻养殖基地,做到原料自给自足。

其次,提取工艺是决定产品质量的关键因素。不同的提取工艺对海藻肥活性成分的种类和含量

影响巨大,传统的化学提取存在严重缺陷,物理提取技术成本过高,生物提取工艺开发是新的出路。目前,利用微生物发酵法生产海藻肥料的研究相对较少,仅有的几例研究是选用多种微生物对海藻原料进行类似堆肥发酵或好氧发酵处理,存在发酵过程可控性差、发酵周期长、目标产物不明确等问题,难以满足工业化生产要求的统一、稳定和可控的标准,产品的质量难以保障。因此,各厂商应加强海藻生物提取工艺的研究开发,控制反应成本,提高产品质量。

最后,海藻肥产品质量标准的制定迫在眉睫,海藻肥作为一种新型肥料,目前国家还没有出台相关标准,国内海藻肥产品鱼龙混杂,产品质量参差不齐,市面上海藻肥产品真假难辨,严重影响了消费者对海藻肥的信赖。因此需要各厂商加强海藻肥产品活性成分的鉴定及检测,提出活性成分的种类及含量指标,尽快出台行业标准,规范海藻肥市场。同时,加强海藻肥产品功能验证及机理研究,用事实和数据说话,让消费者明白、放心。

海藻生物肥料的生产需要经过原料筛选、精深加工、成分检测和功效验证4个环节的严格把控,才能完成质的飞跃,成为活性物质丰富、功效显著的优质产品。希望我国海藻肥生产企业能够坚持把这4个环节做好做深做精,确保产品质量,提高国际竞争力,促进我国海藻肥产业蓬勃发展。

参 考 文 献

- [1] 纪明侯. 海藻化学[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [2] FAO. Yearbook of fishery and aquaculture statistics [C]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012.
- [3] 李书琴,王孝举,范晓. 海藻液体肥的研究[J]. 海洋科学, 1995,3(4): 6.
- [4] Khan W, Rayirath U P, Subramanian S, *et al.*. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development[J]. J. Plant Growth Regul., 2009,28:386-399.
- [5] Chojnacka K. Biologically active compounds in seaweed extracts-the prospects for the application [J]. Open Confer. Proc. J., 2012,3 (S1-M4): 20-28.
- [6] Hong D D, Hien H M, Son P N. Seaweeds from Vietnam used for functional food, medicine and biofertilizer [J]. J. Appl. Phycol., 2007, 19:817-826.
- [7] 丁兰平,黄冰心,谢艳齐. 中国大型海藻的研究现状及其存在的问题[J]. 生物多样性, 2011,19(6): 798-804.
- [8] 黄冰心,丁兰平,谭华强,等. 我国沿海马尾藻属(*Sargassum*)的物种多样性及其区系分布特征[J]. 海洋与湖沼, 2013,44(1): 69-76.
- [9] 刘雪梅,赵鹏,徐继林,等. LC-MS 同时测定大型海藻中9个植物激素[J]. 药物分析杂志, 2012, 32(10): 1747-1752.
- [10] Lane C E, Mayes C, Druehl L D, *et al.*. A multi-gene molecular investigation of the kelp (Laminariales, Phaeophyceae) supports substantial taxonomic re-organization [J]. J. Phycol., 2006,42:493-512.
- [11] Rioux L E, Turgeon S L, Beaulieu M. Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds[J]. Carbohydr. Polym., 2007,69:530-537.
- [12] Craige J S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture[J]. J. Appl. Phycol., 2011,23: 371-393.
- [13] 马纯艳,卜宁,马连菊. 褐藻胶寡糖对高粱种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 沈阳师范大学学报, 2010,28(1): 79-82.
- [14] 刘瑞志. 褐藻寡糖促进植物生长及抗逆效应机理研究[D]. 山东青岛:中国海洋大学,博士学位论文,2009.
- [15] Marais M F, Joseleau J P. A fucoidan fraction from *Ascophyllum nodosum* [J]. Carbohydr. Res., 2001,336:155-159.
- [16] Zvyagintseva T N, Shevchenko N M, Popivnich I B, *et al.*. A new procedure for separation of water-soluble polysaccharides from brown seaweeds [J]. Carbohydr. Res., 1999,322:32-39.
- [17] Stirk W A, Novak M S, van Staden J. Cytokinins in macroalgae [J]. Plant Growth Regul., 2003, 41:13-24.
- [18] Crouch I J, van Staden J. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products [J]. Plant Growth Regul., 1993,13:21-29.
- [19] Stirk W A, Arthur G D, Lourens A F, *et al.*. Changes in cytokinin and auxin concentrations in seaweed concentrates when stored at an elevated temperature [J]. J. Appl. Phycol., 2004, 16:31-39.
- [20] Gupta V, Kumar M, Brahmabhatt H, *et al.*. Simultaneous determination of different endogenous plant growth regulators in common green seaweeds using dispersive liquid-liquid microextraction method [J]. Plant Physiol. Biochem., 2011, 49:1259-1263.
- [21] 赵鹏,徐继林,刘雪梅,等. 海带等4种大型海藻中甜菜碱液质分析研究[J]. 中国药理学杂志, 2011,46(24): 1886-1889.
- [22] MacKinnon S L, Hiltz D, Ugarte R, *et al.*. Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts [J]. J. Appl. Phycol., 2010,22: 489-494.
- [23] Blunden G, Jenkins T, Liu Y. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract [J]. J. Appl. Phycol., 1997,8:535-543.
- [24] Akula A, Akula C, Bateson M. Betaine: a novel candidate for rapid induction of somatic embryogenesis in tea (*Camellia sinensis* L. O. Kuntze) [J]. Plant Growth Regul., 2000, 30: 241-246.
- [25] Nabil S, Cosson J. Seasonal variations in sterol composition of *Delesseria sanguinea* (Ceramiales, Rhodophyta) [J]. Hydrobiologia, 1996,326(327): 511-514.
- [26] Govindan M, Hodge J D, Brown K A, *et al.*. Distribution of cholesterol in Caribbean marine algae [J]. Steroids, 1993,58: 178-180.

- [27] Hamdy A E A, Dawes C J. Proximate constituents and lipid chemistry in two species of *Sargassum* from the west coast Florida[J]. Bot. Mar., 1988, 31: 79-81.
- [28] Anisimov M M, Chaikina E L, Klykov A G, *et al.*. Effect of seaweeds extracts on the growth of seedling roots of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) is depended on the season of algae collection[J]. Agric. Sci. Develop., 2013 2(8): 67-75.
- [29] Kumar G, Sahoo D. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold[J]. J. Appl. Phicol., 2011, 23: 251-255.
- [30] 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]. S. Afr. J. Bot., 2009, 75: 351-355.
- [31] 刘培京. 新型海藻生物有机液肥研制与肥效研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 硕士学位论文, 2012.
- [32] Pise N M, Sabale A B. Effect of seaweed concentrates on the growth and biochemical constituents of *Trigonella foenum-graecum* L. [J]. J. Phytol., 2010, 2(4): 50-56.
- [33] Kumari R, Kaur I, Bhatnagar A K. Effect of aqueous extract of *Sargassum johnstonii* Setchel & Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill[J]. J. Appl. Phicol., 2011, 23: 623-633.
- [34] Sridhar S, Rengasamy R. Significance of seaweed liquid fertilizers for minimizing chemical fertilizer and improve yield of *Arachis hypogaea* under field trial[J]. Rec. Res. Sci. Tech., 2010, 2(5): 73-80.
- [35] Kaoaua M E L, Chernane H, Benaliat A. Seaweed liquid extracts effect on *Salvia officinalis* growth, biochemical compounds and water deficit tolerance[J]. Afr. J. Biotechnol., 2013, 12(28): 4481-4489.
- [36] Ibrahim W M, Ali R M, Hemida K A, *et al.*. Role of *Ulva lactuca* extract in alleviation of salinity stress on wheat seedlings [J]. Sci. World J., 2014, doi: 10.1155/2014/847290.
- [37] Jayaraman J, Norrie J, Punja Z K. Commercial extract from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* reduces fungal diseases in greenhouse cucumber[J]. J. Appl. Phicol., 2011, 3: 353-361.
- [38] Sultana V, Baloch G N, Ara J, *et al.*. Seaweeds as an alternative to chemical pesticides for the management of root diseases of sunflower and tomato[J]. J. Appl. Bot. Food Qual., 2011, 84: 162-168.
- [39] Gandhiyappan K, Perumal P. Growth promoting effect of seaweed liquid fertilizer (*Enteromorpha intestinalis*) on the sesame crop plant[J]. Seaweed Resour. Util., 2001, 23: 23-25.
- [40] Moore K K. Using seaweed compost to grow bedding plants[J]. BioCycle, 2004, 45: 43-44.
- [41] Blunden G. Agricultural uses of seaweeds and seaweed extracts [A]. In: Guiry M D, Blunden G. Seaweed Resources in Europe: Uses and Potential[M]. Chichester: Wiley, 1991, 65-81.
- [42] Alam M Z, Braun G, Norrie J, *et al.*. Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry[J]. Can. J. Plant Sci., 2013, 93: 23-36.
- [43] Alam M Z, Braun G, Norrie J, *et al.*. *Ascophyllum* extract application can promote plant growth and root yield in carrot associated with increased root-zone soil microbial activity[J]. Can. J. Plant Sci., 2014, 94: 337-348.
- [44] Zhai R J. Effects of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, on the nodulation and growth of alfalfa[D]. Canada: Dalhousie University, 2012.