

藻类中植物生长素的研究*

牟晓真 范 晓 韩丽君
(中国科学院海洋研究所)

植物生长素(auxins)是指能引起与(吲哚乙酸 IAA)有同样作用的物质的总称(山田长雄等,1997),作为植物激素(phytohormones)的一种,它广泛存在于水生、陆生植物中,对其生产发育起着至关重要的生物活性作用。相对于高等植物,藻类植物生长素的研究起步较晚。本文综合了国内、外相关文献,对藻类中的植物生长素的研究作了较为全面系统的综述。

一、研究概况

受实验条件的限制,早期的研究多是采用生物试法从藻类中寻找、确定植物生长素的存在。最早在藻类中发现植物生长素的是 Van Der Weij(1933),他用标准燕麦弯曲试法在大泡法囊藻(*Valonia macrophysa*)的细胞壁和原生质中发现含有浓度极低的植物生长素。此方法应用的样品并非来源于无菌条件下培养的海藻,所以不能排除检测到的植物生长素部分或全部是由附着在其上的微生物所合成的可能。另一项重要的早期工作是用燕麦试法从一系列海藻中检测到 IAA 的存在(Van Overbeek, 1940a, b),特别是从巨藻(*Macrocystis phylifera*)和刺酸藻(*Desmarestia aculeata*)中检测到植物生长素在不同藻体的部位(顶芽、液囊、叶柄)存有明显的浓度差(Van Overbeek, 1940b)。用生物检测方法还发现用乙醚从石莼(*Ulva lactuca*)中提取出植物生长素的量与提取时间有关,原因可能是其酶促释放需要一段相当长的时间(约 8 周)(Thimann, *et al.*, 1940)。此后用生物检测法还从多种藻中检测到 IAA 的存在(Williams, 1949; Bentley, 1958)。近几十年来,各种先进分析仪器的不断问世给此项研究注入了新的活力。已用各种仪器分析方法从红藻:孔紫菜(*Porphyra perforata*)、江篱(*Gracilaria verrucosa*)等;绿藻:蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)、裙带菜(*Undaria pinnatifida*)等;褐藻:裂片石莼(*Ulva fasciata*)、肠浒苔(*Enteromorpha intestinalis*)等多种藻中检测到植物生长素的存在;有关藻类中植物生长素的提取分离、含量测定、生物活性的研究报告也越来越多(Ahmad, 1988; Grotbeck, *et al.*, 1972; Zhang, *et al.*, 1993; Kaczyna, *et al.*, 1993)。

在进行基础性研究的同时,藻类的生长素的应用研究也不断深入。虽然早在公元 1 世纪就有海藻粉肥应用的文献记载,但随着 17 世纪人工合成肥的问世,这种方法的使用已渐渐减少。近几十年来,随着科学技术的飞速发展以及人们对环保意识的增强,合成化

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 3719 号。
收稿日期:1999 年 3 月 5 日。

肥因其对土壤及环境都有不良影响,使人们又将目光投向藻类(Thivy,1982)。目前已经被用作土壤填充肥料、调节剂的海藻有:泡叶藻(*Ascophyllum nodosum*)、极大昆布(*Ecklonia maxima*)、掌状昆布(*Laminaria digitat*)、齿缘墨角藻(*Fucus serratus*)、墨角藻(*F. Vsciculosus*)以及半叶马尾藻(*Sargassum heterophyllum*)等,而其中的 *Ascophyllum nodosum* 为常用种类(段德麟,1994)。商品化的海藻肥制品也不断问世,国际上已有 KELPAK, MARINURE, MAXCROP, REDCROP, SEAMAC, SM3 等多种品牌的海藻肥出售。研究表明,作为此类肥料所含的重要功能性成分——植物生长素以其独特的生物活性对提高受肥植物的出芽率、增强其根系的发育和提高受肥植物的抗旱性、抗冻性、抗盐性和抗虫害性有明显的促进作用(Stirk, *et al.*, 1997; Crouch, *et al.*, 1993)。

二、结构特征及分类

传统上认为,植物生长素包括:植物生长素 a(auxin a),植物生长素 b(auxin b)和吲哚类物质三种。但从人尿中发现的植物生长素 a 和在玉米胚芽油中发现的植物生长素 b (Kogl, 1933)却从来没有在活体植物组织中检测到,而且它们的合成类似物也没有显示促生长活性,所以这二者在一定意义上不能称为植物生长素。

植物生长素分天然和合成两种,而天然植物生长素在植物体内又有游离态和整合态之分,游离态的植物生长素可在极性传输系统中自由移动,并可直接迅速的对植物的生长发育起促进作用;整合态的植物生长素不能自由移动,只能在某些情况下对植物生长起促进作用。目前,已确定有以下四种整合态植物生长素存在:植物生长素-蛋白质络合物、中性植物生长素前体、植物生长素络合物的前体和结构蛋白质(Larsen, 1951)。已被确认的天然藻类生长素都是吲哚类物质及其衍生物(其结构式如图 1),吲哚乙酸(IAA)($R = CH_2COOH$)为其中的代表物质。IAA 为淡红色粉末,有特殊的吲哚气味,在氧气和光的作用下分解变质,可溶于甲醇、乙醇、乙酸乙酯、丙酮和乙醚等有机溶剂,部分溶于水和氯仿。合成的植物生长素中应用较多的是 2,4-氯苯氧乙酸(2,4-D)。

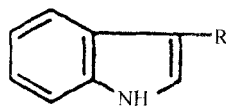


图 1 藻类植物中吲哚类
植物生长素的结构示意图
 $R = CH_2COOH$

三、植物生长素在藻类中的分布及含量

植物生长素在藻类中分布很广,但在藻体中的含量却很低。一般来说,新鲜藻体中的植物生长素的总含量只有 $1-100 \mu g/kg$ 左右(Maruyama, *et al.*, 1989)。植物生长素的分布及含量主要受以下几个方面的影响:

1. 不同藻类 在红藻、绿藻、褐藻等不同的藻类中,植物生长素的含量不同。研究表明,巨藻中(*Macrocystis phylifera*)约含 $0.5\mu\text{g/kg IAA}$,羽藻属(*Bryopsis*)中约含 $80\mu\text{g/kg}$,伊乐藻属(*Elodea*)中约含 $50\mu\text{g/kg}$,孔紫菜(*Porphyra perforata*)中约含 $20\mu\text{g/kg}$ (Conrad, 1959; Crouch. *et al.*, 1993)。

2. 藻体发育阶段 作为一类促进植物生长发育的内源植物激素,植物生长素在藻类中的含量变化与季节性的营养生长和发育有密切关系。一般说来,处在生长发育阶段和生长季节的藻体中的植物生长素的总体含量较高。对蛋白核小球藻 *Chlorella pyrenoidosa* 中内源 IAA 的研究表明,从其生长发育的似亲孢子阶段的 $519\mu\text{g/kg}$ (干重)到幼年阶段的 $713\mu\text{g/kg}$ (干重),再到成熟阶段的 $1455\mu\text{g/kg}$ (干重),IAA 的含量逐渐增高(Grotbeck, *et al.*, 1972)。

3. 藻体的部位 研究表明,植物生长素的含量通常在藻体的顶芽中最高,而在叶柄中最低,对巨藻(*Macrocystis phylifera*)上部 50cm IAA 的含量分布进行的研究很好的验证了这一点:从藻体顶端叶片→叶柄→根部存在一个明显下降的浓度梯度,但有时也有顶芽中植物生长素的含量低于上部侧芽的情况。总的说来,植物生长素在植物的生长发育旺盛的部位含量较大(Van Overbeek, 1940b)。

4. 藻体内的存在状态 游离态的植物生长素和整合态的植物生长素在藻体的不同部分的分布有所不同。一般说来,在生长发育旺盛的部位,游离态植物生长素的含量会高些。

四、生物合成与代谢

1. 生物合成 植物生长素中 IAA 的生物合成途径大体上已经明确,即从色氨酸(tryptophan)出发,经过 3-吲哚基丙酮酸(indol-3-pyruvic acid)或色胺(tryptamine),脱羧成为吲哚-3-乙醛(3-indoleacetaldehyde),后者再氧化即生成 IAA(合成步骤见图 2)。但是研究结果还提示可能存在着其他的生物合成途径(柴田承二等,1984)。

2. 代谢途径 IAA 在植物体内有三种主要代谢途径:①参与植物机体的生长而被消耗;②由于植物体内其他多种化合物的去毒作用而被分解;③通过酶促氧化或酶促脱羧等反应而分解失活。此外,IAA 可能还存在着转移成复合物或被蛋白质等高分子化合物不可逆捕获而失活的代谢途径。

二氯苯氧乙酸(2,4-D)等合成的生长素与 IAA 等天然生长素的失活机理相反,发生与之不同的反应,通常多为拮抗反应。研究还发现用合成的生长素对植物进行前处理,IAA 在植物体内的代谢途径要发生变化(柴田承二等,1984)。

五、生理作用及其影响因素

1. 植物生长素在藻类中的生理作用 作为内源植物激素的植物生长素在植物体内主要发挥以下四种生理作用:影响细胞形成层的活性;增强细胞膜的渗透性;诱导乙烯的生成;影响植物子房的发育。外源加入的植物生长素对藻类植物生长发育的影响已有

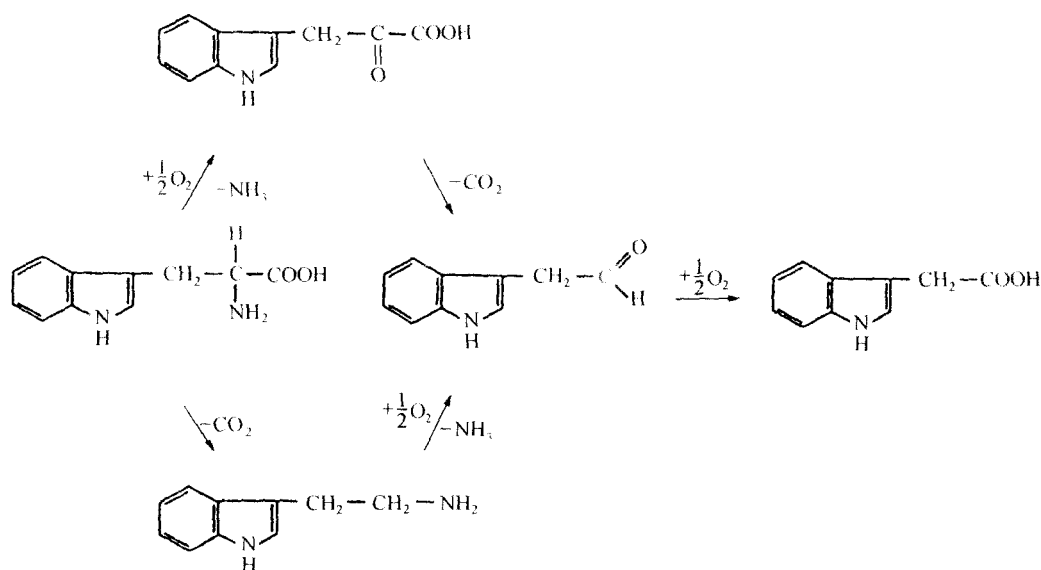


图2 IAA的生物合成途径

很多研究报道,主要有以下几个方面:

(1)促进单个藻体细胞的伸长(增长):小球藻(*Chlorella vulgaris*)经过12d IAA (10mg/L)的处理,藻体细胞的体积增加了20%(Yin, 1937)。在对不同种类的小球藻(*Chlorella vulgaris*)的培养中发现1.0mg/L的IAA促进了藻体细胞的伸长(Roborgh, *et al.*, 1948)。研究还发现100mg/L的IAA可增加石莼(*Ulva lactuca*)和浒苔(*Enteromorpha*)的细胞体积(Kylin, 1942)。

(2)促进藻体细胞组织分裂,使藻体细胞数量增加:实验表明,10mg/L的IAA可使蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)的藻体细胞数量在30d的培养过程中增加4倍。(Brannon, *et al.*, 1945)。另一实验中,用1.0mg/L的IAA对小球藻(*Chlorella vulgaris*)进行处理后,藻体细胞数量增加了3倍(Alg  s, 1946)。

(3)促进藻体假根的生长:实验表明,0.175—1.75mg/L的IAA可使地中海伞藻(*Acetabularia mediterranea*)的假根在25d时间内增长2倍(Thimann, *et al.*, 1959)。

(4)促进顶端叶片的生长:有关脱皮松藻(*Codium decorticatum*)的实验中,5mg/L的IAA在35d中使藻体顶端的叶片伸长了30%,而基部藻体则无明显伸长(Williams, 1952)。

(5)通过反分化诱导愈伤组织(callus tissue)形成:研究发现,与高等植物一样,给予鸡冠菜(*Meristotheca papulosa*)的高浓度生长素能通过藻体组织的反分化而诱发愈伤组织的形成。生成的愈伤组织是否保持原来的状态,能否引起生根、发芽等再分化,依赖于培养基中生长素的浓度(柴田承二等, 1984)。

值得注意的是,作为藻类中多种植物激素的一类,植物生长素是不能单独完成上述生理作用的,它要与其他植物激素如细胞激动素、脱落酸、乙烯等共同作用(协同作用、抑制作用等),调节藻类植物的各种生理过程。

2. 影响因素

(1)植物生长素的浓度:研究表明,IAA对螺旋藻(*Spirulina* SP-1)的促生长作用存在一个最适宜浓度(1.75×10^{-4} mg/L),大于这个浓度 IAA 会抑制其生长,小于这个浓度则 IAA 的促生效果不明显(Mehta, *et al.*, 1985)。其他藻类植物也不例外,IAA对绿藻(*Botrococcus braunii*)生长的最适宜浓度在 1.75×10^{-3} mg/L(Ahmad, 1988);对凝花菜(*Gelidiella acerosa*), IAA 的最适宜浓度为 1.75×10^{-3} mg/L,当浓度为 0.175mg/L 和 1.75mg/L 时则显示出明显的抑制作用(Datta, *et al.*, 1990)。浓度为 1.75×10^{-2} mg/L 的 2,4-D 对蜈蚣藻属(*Grateloupia*)起促生长作用,浓度为 17.5mg/L 时则起抑制作用(Garcia-Jimenez, *et al.*, 1998)。浓度为 87.5mg/L 的 IAA 对棒叶蕨藻(*Caulerpa sertularioides*)的直立叶柄有明显的促生长作用,对其根状茎则明显抑制(Mishra, 1969)。研究还发现浓度为 0.1—1.0mg/L 的 IAA 可明显促进边缘列子藻(*Stoechospermum marginatum*)叶状体的生长,浓度再增大则抑制其生长(Murthy, *et al.*, 1987)。

(2)植物生长素的种类:不同种类的植物生长素对藻类植物起的促生长效果不同。通过实验发现 IAA 对马尾藻属的 *Sargassum. obliquus* 的促生长效果最好,而 NAA(奈乙酸)、PAA(苯乙酸)、IPA(吡啶丙酸)、IBA(吡啶丁酸)和苯丙酸的促生长效果依次降低(Alg  s, 1946)。对小球藻(*Chlorella vulgaris*)的实验中,使用 IAA 的实验组的藻体细胞 25d 内总数增大了 20 倍,使用 IPA 的实验组的藻体细胞总数增大了 2 倍,而使用 IBA 的实验组的藻体细胞总数增大了 11 倍。IAA、IPA 和 IBA 的促生长作用依次降低(Pratt, 1937)。对根枝藻属的 *Rhizoclonium hierogluphicum* 的促生长作用的实验发现,经过 16d 的培养,IAA(10^{-6} — 10^{-10} mol/L)组藻体总量(干重)增长了 37%,IBA(10^{-9} mol/L)组增长了 53%,而 NAA(10^{-9} mol/L)组则增长了 20%(Davidson, 1952)。此外,用不同浓度的 IAA、2,4-D 和 NAA 处理海神草属的 *Cymodocea nodosa* 的假根和叶片时,不同的植物生长素刺激藻样发育的最适宜浓度及效果均不同的(Mu  oz, 1995)。研究还发现,单独使用任何浓度的 IAA 或 IPA 对江篱(*Gracilaria verrucosa*)没有促生长作用,而将二者在适宜的浓度配比下共同使用,则显现出很好的促生长效果(Kaczyna, *et al.*, 1993)。

六、提取与鉴定

由于植物生长素的性质独特,在藻体中的含量又很小,所以它的提取工艺和鉴定方法较复杂而且对仪器设备要求较高。

(一)提取分离方法

提取方法主要有渗滤法、溶剂提取法和仪器分离纯化法。最简单的提取方法是渗滤法,即将植物生长素通过浓度扩散进入琼脂。但这种方法提取出的样品只能用于其生物定性检测,不能进行定量测定。目前较为常用的方法是后两种。

1. 溶剂提取法 影响提取效果有以下几个因素:

(1)溶剂目前通用的溶剂是乙醚,由于其自发过氧化作用产生的过氧化物会将植物生

长素氧化,所以使用前必须用硫酸亚铁或氧化钙重蒸提纯,使用时配成 95% 的水溶液。此外较好的溶剂还有甲醇、丙酮等。

(2)酸度提取时 pH 值也对提取效果有明显影响。一般情况下, pH=2.8 时乙醚的提取效果最好,而在较低的碱性环境下植物生长素可从油相进入水相。

(3)温度常温提取的效果要明显差于较低温度。

(4)时间由于藻体组织中游离态植物生长素在藻体组织内移动灵活,较易被溶剂吸收,故而所需的提取时间较短(2—5h 左右);而结合态植物生长素的灵活性较差,故而所需的提取时间就较长(20—280h 左右)。提取时要根据需要确定提取时间。

综合考虑以上四个因素,提取游离态的植物生长素效果较好且工艺较简单的方法如下:

- (a)将采集到的新鲜藻样用清水冲洗干净以除去表面可能附着的微生物;
- (b)洗好的藻样马上用干冰冷冻,或放入冻干器内干燥;
- (c)研磨至 40 目;
- (d)用去过氧化高纯的乙醚(95%)在 0℃、pH=2.8 的条件下提取 2.5h;
- (e)将提取液真空减压蒸馏至几毫升得到提取物。

若还需提取结合态的植物生长素,则其他工艺不变,延长提取时间即可。

溶剂提取法的优点是操作简单、对仪器的要求较低;缺点是提取的植物生长素样品纯度不高(Leopold, 1955)。

2. 仪器分离纯化法 高效液相色谱法(HPLC)等仪器分析法不仅能从藻样中分离出各种较纯的植物生长素,而且还能直接做出准确的定性及定量分析,缺点是前处理较复杂(Jacobs, 1993; Abe, *et al.*, 1974; Kaczyna, *et al.*, 1993)。

(二)鉴定

植物生长素在藻类中过低的浓度使常规的化学鉴定已不能满足需要。目前较为普遍采用的鉴定方法是生物检测法和仪器分析法。

1. 生物检测法 燕麦胚芽鞘弯曲试法是较经典而且较直观的方法,即施加含有一定浓度植物生长素的琼脂块于正在生长的燕麦的胚芽鞘上观察其生长情况。这种生物检测法是基于植物生长素在燕麦胚芽鞘中的极性传输,加有植物生长素琼脂块一端的生长速率大于未加有的一端,使胚芽鞘弯曲生长。Van Overbeek(1940b)应用这一原理建立了一套鉴定藻类中植物生长素的半定量的方法,其公式为

$$H = \frac{(C \times I_1 + O) \times V_a}{W}$$

式中, C 为燕麦弯曲的度数, I_1 为燕麦弯曲 1° 时所对应的吲哚乙酸(IAA)的浓度($\mu\text{g/L}$), O 为修正常数($\mu\text{g/L}$), V_a 为所加琼脂的体积(ml), W 为新鲜藻样的湿重(g), H 为藻样中相当于(IAA)的植物生长素的含量($\mu\text{g/kg}$)。

此外, Nitsch 等人(1955)还建立了一套基于燕麦生长长度的半定量检测植物生长素的方法。生物检测法简单直观,但受诸多环境因素的影响(如温度、光照、土质等),故由此

方法得出的结果,可信度不高(Schiewer,1967),只能定性、半定量的说明藻样中的植物生长素含量。为了得到植物生长素在藻样中的精确含量,必须采用仪器分析方法。

2. 仪器分析法 紫外分光光度法(UV)、红外光谱法(IR)、高效液相色谱法(HPLC)、核磁共振(NMR)以及色质联用(GC-MS)等仪器分析方法都能准确的检测出藻样中植物生长素的含量,各种方法所需的前处理不同,精度也稍有差别。其中色质联用(GC-MS)和核磁共振(NMR)可信度高,可用做结论性的鉴定(Abe, *et al.*, 1974; Bandurski, *et al.*, 1974; Hillman, 1978; Jacobs, *et al.*, 1985; Kaczyna, *et al.*, 1993; Zhang, *et al.*, 1993)。

参 考 文 献

- 山田长雄等(鄂永昌等译),1997,生物学词典,科学出版社,532。
- 段德麟,1994,海藻中细胞激动素的提取、鉴定、及其对条斑紫菜丝状体生长发育的作用,博士论文,3。
- 柴田承二等(杨本文译),1984,生物活性天然物质,人民卫生出版社,2—5。
- Abe, H., M. Uchiyama, R. Sato, 1972, Isolation and identification of native auxins in marine algae, *Agr. Biol. Chem.*, **36** (12):2259-2260.
- Abe, H., M. Uchiyama, R. Sato, 1974, Isolation of phenylacetic acid and its p-hydroxy derivative as auxin-like substances from *Undaria pinnatifida*, *Agr. Biol. Chem.*, **38**(4):897—898.
- Ahamad, M. R., 1988, Physiological studies on botryococcus. 1. Effect of growth promoting substances on the growth of green alga *Botryococcus braunii*, *Cryptogamie, Algologie*, **9**(2):127—131.
- Alg us, S., 1946, Untersuchungen  ber die Ern hrungsphysiologie der Chlorophyceen. *Botan. Notiser*, 129—280.
- Bandurski, R. S., A. Schulze, 1974, Concentrations of indole-3-acid and its esters in *avena* and *zea*, *Plant Physiol.*, **54**:257—262.
- Bentley, J. A., 1958, Effect of ethanol and auxins on the growth of unicellular algae, *Nature* **181**:1359—1360.
- Brannon, M. A., H. M. Sell, 1945, The effect of IAA on the dry weight of *Chlorella pyrenoidosa*, *Am. J. Botany*, **32**:257—258.
- Conrad, H. M., P. Saltman, 1963, Growth substances, Physiology and Biochemistry of Algae, Academic Press, New York, 663—671.
- Crouch, I. J., J. V. Staden, 1993, Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products, *Plant growth regulation*, **13**:21—29.
- Datta, B. K., K. H. Mody, B. J. Mehta, V. D. Hauhan, 1990, Effect of indole acetic acid, gibberellic acid and kinetin on the growth of red alga *Gelidiella acerosa* (Rhodophyta), *Indian J. Mar. Sci.*, **19**:289—291.
- Davidson, E. F., 1952, Effects of growth substances on *Rhizoclonium hieroglyphicum*, *Am. J. Botany*, **39**:700—704.
- Garcia-Jimenez, P., M. Rodrigo, R. R. Robaina, 1998, Influence of plant growth regulators, polyamines and glycerol interaction on growth and morphogenesis of carposporelings of *Grateloupia* cultured *in vitro*, *J. App. Phycol.*, **10**:95—100.
- Grotbeck, L., B. Dwain Vance, 1972, Endogenous levels of indole-3-acetic acid in synchronous cultures of *Chlorella pyrenoidosa*, *J. Phycol.*, **8**:272—275.
- Hillman, J. R., 1978, Isolation of plant growth substances, Cambridge University Press, 1—40.
- Jacobs, W. P., K. Falkenstein, R. H. Hamilton, 1985, Nature and amount of auxin in algae, *Plant Physiol.* **78**:844—848.
- Jacobs, W. P., 1993, Research for some angiosperm hormones and their metabolites in *Caulerpa paspaloides* (chlorophyta), *J. Phycol.*, **29**:595—600.
- Kaczyna, K., R. Megnet, 1993, The effects of glycerol and plant growth regulators on *Gracilaria verrucosa* (Gigartinales, Rhodophyceae), *Hydrobiologia*, **268**:57—64.
- Kogl, F., 1933, On plant hormones (auxin a and auxin b), *Rep. British Assoc.*, 600—609.
- Kylin, H., 1942, Influence of glucose, ascorbic acid, and heteroauxin on the seedlings of *ulva* and *Enteromorpha*. *Kgl. Fysiograf. S llskap. i Lund Forh.*, **12**:135—148.

- Larsen, P., 1951, Enzymatic conversion of indole acetaldehyde and naphthalene acetaldehyde to auxins, *Plant Physiol.*, 26: 697—770.
- Leopold, A. C., 1955, Auxins and plant growth, University of California press, 13—20.
- Lewin, R. A., 1962, Physiology and biochemistry of algae, Academic press (New York and London), 663—669.
- Maruyama, A., M. Maeda, U. Simidu, 1989, Microbial production of auxin indole-3-acetic acid in marine sediments, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 58: 69—75.
- Mehta, B. J., V. D. Chauhan, M. M. Taqui Khan, 1985, Culture and chemical aspects of marine *Spirulina* sp. From gujarat coast, *Seaweed Res. Utiln.*, 8(1—2): 13—17.
- Mishra, Arun K., Noel P. Kefford, 1969, Development studies on the coenocytic alga, *caulerpa sertularioides*, *J. Phycol.*, 5: 103—109.
- Muñoz, J. T., 1995, Effect of some plant growth regulators on the growth of the seagrass *Cymodocea nodosa* (Lurida) Ascherson, *Aquat. Bot.*, 51: 311—318.
- Murthy, M. S., E. R. Reddy, D. P. Subbaraju, 1987, Influence of some growth regulators on the sporelings of the marine alga *Stoechospermum marginatum*, *Aquat. Bot.*, 29: 283—286.
- Nitsch, J. P., C. Nitsch, 1955, Studies on the growth of coleoptile and first internode sections. A new, sensitive, straight-growth test for auxins, *Plant Physiol.*, 31: 94—111.
- Pratt, R., 1937, Influence of auxins on growth of *Chlorella vulgaris*, *Am. J. Botany*, 25: 498—501.
- Roborgh, J. R., J. B. Thomas, 1948, The synthesis of growth substances. I. The action of heteroauxin on the growth of *Chlorella vulgaris* and the influence of light on the production of growth substances, *Koninkl. Ned. Akad. Wetenschap. Proc.*, B51: 87—99.
- Schiewer, U., 1967, Auxinvorkommen und Auxinstoffwechsel bei mehrzelligen. I. Zum Vorkommen von Indole-3-Essigsäure, *Planta*, 74: 313—323.
- Stirk, W. A., J. Van Staden, 1997, Comparison of cytokinin- and auxin-like activity in some commercially used seaweed extracts, *J. App. Phycol.*, 8: 503—508.
- Thimann, K. V., F. Skoog, 1940, The extraction of auxin from plant tissues, II, *Am. J. Botany*, 27: 951—960.
- Thimann, K. V., K. Beth, 1959, Action of auxins on *Acetabularia* and the effect of enucleation, *Nature*, 183: 946—948.
- Thivy, F., 1982, On the importance and prospects of seaweed utilization in India, *Seaweed Res. Utiln.*, 5(1): 58.
- Van Der Weij, H. G., 1933, Occurrence of growth substance in marine algae. *Proc. Koninkl. Akad. Wetenschap. Amsterdam*, 36: 759—760.
- Van Overbeek, J., 1940a, Auxin in marine algae, *Plant Physiol.*, 15: 291—299.
- Van Overbeek, J., 1940b, Auxin in marine plants, *Botan. Gaz.*, 101: 940—974.
- Williams, L. G., 1949, Growth regulating substances in *Laminaria agardhii*, *Science*, 110: 169—170.
- Williams, L. G., 1952, Effects of IAA on growth in *Codium*, *Am. J. Botany*, 39: 107—109.
- Yin, H. C., 1937, Effect of auxin on growth of *Chlorella vulgaris*, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S.*, 23: 174—179.
- Zhang, W., H. Yamane, D. J. Chapman, 1993, The phytohormone profile of the red alga *Porphyra perforata*, *Bot. Mar.*, 36: 257—266.

REVIEWS OF RESEARCH ON AUXINS IN ALGAE*

Mu Xiaozhen, Fan Xiao, Han Lijun

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences*)

ABSTRACT

Auxins are phytohormones, which have been shown to be involved in a great number of diverse plant growth phenomena, such as ovary growth, cambial activity, production of ethylene, and effect on the cell wall. Numerous researches show that auxins also exist in algae and play functional roles in their growth and development. Based on the research results in China and abroad, this article systematically introduces the studies on algae auxins, on their contents, distribution, chemical structures, physiological responses, origin and metabolism. The techniques of their isolation, identification and measurement are also reviewed in this paper. Generally speaking, the chemical components of auxins in algae are indol acetic acid (IAA) and indol acetic acid-like substances. The distribution of auxins in algae varies with the species, growth stages, position in algae, and their forms. Bioassay systems are not specific enough to eliminate false positive results, and chemical identifications are far from conclusive because of their low concentration. Unambiguous and definitive identifications must be made by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and/or nuclear magnetic resonance (NMR).

* Contribution No. 3719 from Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.