

铵氮对龙须菜含氮化合物和 碳水化合物组成的影响*

黄晓航 温宗存 吴超元

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

提要 在低氮海水中培养龙须菜 (*Gracilaria sjoestedtii* Kylin), 采用间歇施肥法控制藻体氮营养状态并通过化学组分分析研究了藻体内含氮化合物和碳水化合物的变化, 探讨了它们之间的相互关系。试验结果表明: 施肥的藻体保持较高的生长速度和较高的总氮、蛋白质和游离氨基酸含量。在氮饥饿状态下, 藻体内红藻糖苷含量增加显著; 随着氮饥饿程度的增加, 红藻淀粉的含量增加; 在氮饥饿后期, 半乳聚糖的累积最明显。当外界氮供应发生变化时, 红藻糖苷和游离氨基酸含量的变化最显著, 这两种化合物的含量变化存在着明显的负相关 ($r = -0.98, p < 0.005$)。

近年来, 不少学者在研究氮营养对藻类的影响时都注意到: 当海水中氮盐丰富时, 许多海藻可大量吸收并以无机或有机的形式累积氮^[6,9]。在不同海藻中, 这些含氮化合物的代谢和累积有着不同的特点。有些藻类主要以蛋白质的形式累积氮^[5,7,15]; 有的则以NO₂⁻或游离肽的形式累积, 其含量可达藻体总氮的1/3, 甚至一半^[6,16]。

海藻吸收累积氮盐, 不仅影响到体内的氮代谢, 还影响到碳代谢过程。当藻体内含氮量降低时, 有的褐藻所含甘露醇、海带淀粉的量会增高^[12]; 有的红藻体内总碳水化合物、琼胶或卡拉胶含量也会增高^[4,9,10]。但是, 在不同氮营养条件下, 红藻体内各种含氮化合物和各种组分糖如何变化, 它们之间的消长关系怎样, 哪一种组分变化最明显, 它们的代谢与累积有什么特点, 目前尚无全面的研究报道。

龙须菜 (*Gracilaria sjoestedtii* Kylin) 是青岛地区常见的一种红藻, 藻胶质量好, 有可能成为重要的琼胶原藻和人工养殖对象^[8]。本实验以龙须菜为材料, 研究铵氮对其生长和对藻体内含氮化合物和碳水化合物组成的影响, 并探讨它们之间的相互关系。这将有助于加深对龙须菜体内氮与碳这两个基本代谢过程及其相互联系的认识, 而且在生产实践方面, 有可能为龙须菜的施肥养殖方法以及为获得较高的琼胶产量、质量提供科学依据。

一、材料与方 法

龙须菜采自青岛湛山湾。选择幼嫩的, 色泽、大小一致的健康藻体 400g, 洗净后在温室内大水槽中培养。水体积为 600L, 日换水一次。海水中硝态氮为 0.2—1.0 $\mu\text{mol/L}$,

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1550 号。

收稿日期: 1988年8月24日。

铵态氮为 0.9—2.3 $\mu\text{mol/L}$ 。采用自然光照培养,晴天时照度约为 15 000lx。实验期间水温为 16—24 $^{\circ}\text{C}$ 。

实验材料用间歇施肥法处理。即每隔三天将藻体浸于含 10m mol/L NH_4Cl 的海水中通气吸收 1 h。吸收后,将藻体表面残留的 NH_4Cl 洗净,放回大水槽培养。对照材料也同时培养在同一水槽中,用尼龙纱网与实验材料隔开。以同样的方法还在海上进行现场实验。

材料每 6 天称重一次,依据 Rosenberg 的公式^[20]计算生长速度。供分析用的海藻样品于吸收前随机取样,洗净后在红外灯下烘干,粉碎,过 60 目筛后放入干燥器中备用。分析前在 80 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘至恒重。

样品直接用 Perkin-Elmer 240 C 型元素分析仪分析氮、碳元素含量。

样品于室温下以 1mol/L NaOH 提取 24 h 后,按 Lowry 法^[17]测定蛋白质含量。

样品于室温下用 75% 乙醇提取 30h 后,按纪明侯等人的方法^[1]用日立 835-30 型氨基酸分析仪分析游离氨基酸含量。

样品用 HCl-甲醇分解后按张燕霞和范晓的方法^[2]用 GCHF 18.3 型气相色谱仪分析碳水化合物中各组分糖含量。

样品于 75 $^{\circ}\text{C}$ 下用 80% 乙醇回流提取,经除色素、除盐,旋转蒸发至干后用纸层析和气相色谱分析低分子碳水化合物含量。标准红藻糖苷由瑞典 Lindberg 教授提供。

海水中的铵氮和硝氮含量分别用高凤鸣等人^[3]和 Riddell^[19] 的方法测定。

二、结果与讨论

实验期间,龙须菜生长正常,施肥增产效果明显。施肥组藻体平均日增重为 2.96%,对照组为 1.98%,施肥组较对照组高约 50%。海上实验施肥组培养 40 余天,平均每绳由原重 23g 增至 687g,较对照组重 321g;平均藻体长度由 19cm 增至 97cm,较对照组长 26cm。

1. 总氮、含氮化合物和总碳水化合物的变化及其相互关系

在大水槽中培养 30 天的施肥组与对照组藻体总氮、蛋白质和游离氨基酸(包括游离氨基化合物)含量的变化见图 1a, b, c。由图可见,施肥组的总氮、蛋白质和游离氨基酸含量在实验开始时分别为藻体干重的 2.4%, 9.2% 和 1.4%。在实验开始后的头 6 天,由于生长速度较高,氮供应不足,因而各项氮指标都有所下降;而后生长速度趋缓,各项氮指标逐渐回升,实验结束时分别为 2.6%, 9.4% 和 1.7%, 与原有水平相差不大。对照组由于持续缺氮,总氮、蛋白质和游离氨基酸的含量则一直保持下降趋势,实验结束时分别下降到 1.1%, 5.8% 和 0.3%。这三项氮指标的变化,以游离氨基酸的变化最为显著。一般认为,游离氨基酸组成藻体氮的初级代谢库,它的消长受氮营养盐吸收和其它氮代谢过程的影响很大。对照组中,仅在氮饥饿的前 12 天里,游离氨基酸的含量就降到原含量的一半以下;而施肥组的游离氨基酸含量基本变化不大,实验结束时为对照组的 5 倍多。

对比游离氨基酸的变化,蛋白质含量在实验中变化较小。施肥组维持在 8—9.4% 之间,对照组在实验过程中仅下降了 38%。因为蛋白质是藻体细胞器和酶的主要成分,是生命的物质基础(根据计算,龙须菜中蛋白氮占藻体总氮的 60% 以上),所以,藻体中蛋

白质含量相对稳定,才能保持藻体进行正常的生理活动和正常生长。

图 1d 表示实验过程中藻体总碳水化合物的变化。施肥组总碳水化合物占藻体干重的 46.0% 左右,没有大的变化;而对照组由 44.0% 上升到 67.6%,增加了将近 54%。

从上述结果可以看出,施肥组除了在实验开始后的前 6 天内含氮化合物有暂时的下降外,6 天以后,藻体内含氮化合物和碳水化合物的含量基本上没有大的变化,说明在实验过程中供给的氮盐能够满足藻体保持一定生长速度的需要,含氮化合物与碳水化合物随着生长保持同步增长,藻体内的氮代谢与碳代谢保持着动态平衡;而对照组则不同,由于严重氮饥饿,藻体生长速度明显低于施肥组,实验后期,生长几乎陷于停顿。由于氮盐不足,致使用于合成氨基酸和蛋白质碳骨架的光合初级产物更多地转向合成碳水化合物,造成藻体内游离氨基酸和蛋白质含量下降和碳水化合物含量上升,这样,对照组藻体就不再保持原有的氮与碳的平衡关系了。

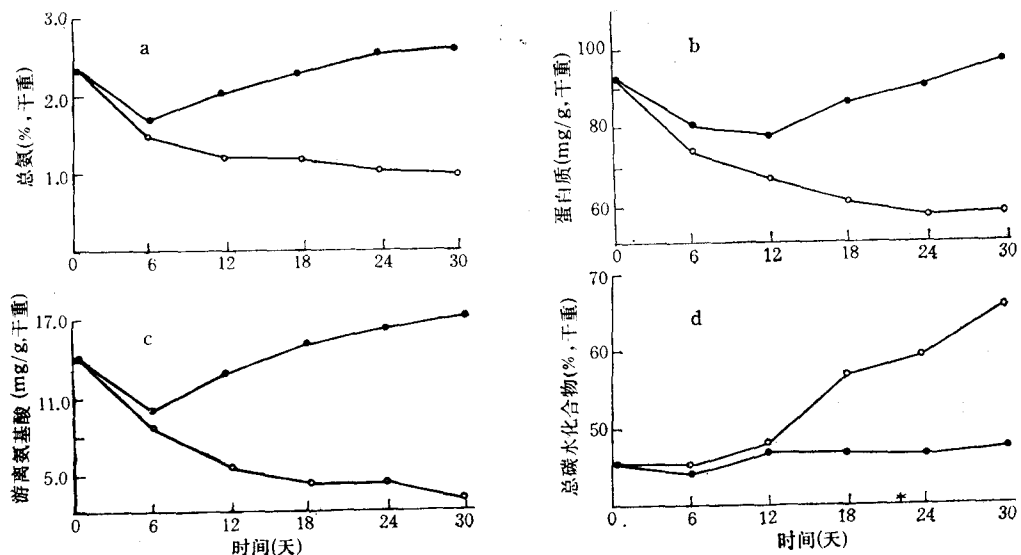


图 1 龙须菜藻体内总氮、蛋白质、游离氨基酸和总碳水化合物含量的变化

Fig. 1 Changes of total nitrogen, protein, free amino acids and carbohydrate in both nitrogen enriched and nitrogen starved *Gracilaria sjostedtii*

a. 总氮; b. 蛋白质; c. 游离氨基酸; d. 总碳水化合物。●-●-施肥组; ○-○-对照组, 图 2-4 同。

经过计算, 对照组藻体中总氮、蛋白质、游离氨基酸同总碳水化合物的相关系数分别为 $r = -0.74 (p < 0.1)$, $r = -0.84 (p < 0.05)$ 和 $r = -0.83 (p < 0.05)$ 。含氮化合物与碳水化合物含量之间存在着明显的负相关关系。这一结果与 Bird 等人^[4]对圆扁江蓠 (*Gracilaria tikvahiae*) 所作的研究结果是一致的。

2. 游离氨基酸和游离低分子碳水化合物的变化及其相互关系

(1) 各种游离氨基酸的变化 龙须菜中共测出 17 种游离氨基酸和 1 种氨基化合物牛磺酸。其中含量高、变化大的有谷氨酸、天门冬氨酸、精氨酸和牛磺酸, 它们占游离氨基酸总量的 80%。

在实验过程中, 施肥组的谷氨酸和天门冬氨酸含量分别由实验开始时的 2.0mg/g 和

0.46mg/g 分别上升到实验结束时的 4.0mg/g 和 1.3mg/g (见图 2a,b), 各自增加了 1 倍和 2 倍, 均为对照组的 20 倍。精氨酸含量由实验开始时的 0.09mg/g 上升到实验结束时的 4.0mg/g, 增加了 40 多倍, 比对照组高 80 倍以上(图 2c)。而在对照组中, 这三种氨基酸的含量不断下降, 到实验结束时, 在氨基酸总量中仅占 10%, 与其它氨基酸的含量已无差异。以上结果表明, 龙须菜吸收铵氮后, 谷氨酸、天门冬氨酸和精氨酸的代谢非常活跃, 累积量也很高, 尤其是精氨酸的累积最为显著。

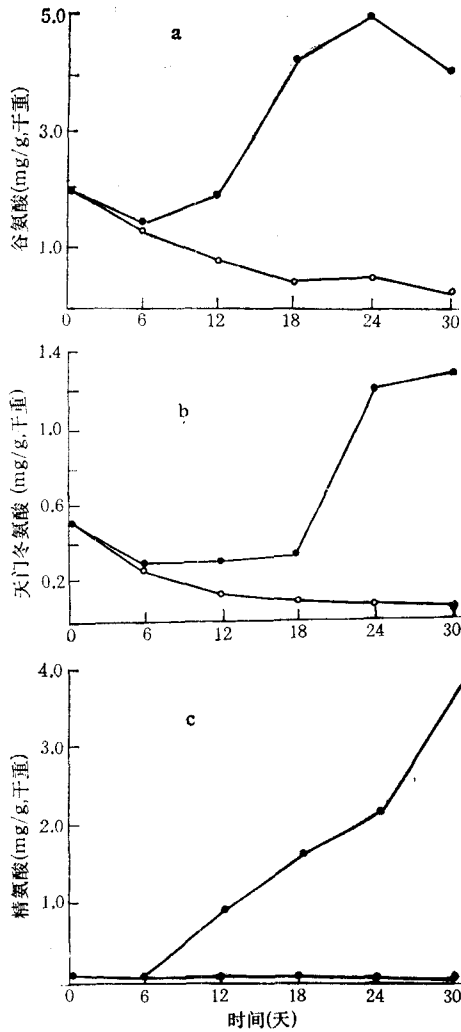


图 2 龙须菜藻体内三种主要游离氨基酸含量的变化

Fig. 2 Changes of three main amino acids in both nitrogen enriched and nitrogen starved *Gracilaria sjoestedtii*

a. 谷氨酸; b. 天门冬氨酸; c. 精氨酸。

总量不到红藻糖苷含量的百分之一, 游离葡萄糖没有测出。

在实验过程中, 对照组的红藻糖苷由实验开始时的 28.6mg/g 上升到实验结束时的 149.9mg/g, 总量达干重的 15%, 为施肥组含量的 2 倍(图 3)。这说明, 在氮饥饿状态下红藻糖苷的累积非常显著。在实验初期, 施肥组红藻糖苷的含量同样增加。对比图 1 就可

氨基酸的含量不断下降, 到实验结束时, 在氨基酸总量中仅占 10%, 与其它氨基酸的含量已无差异。以上结果表明, 龙须菜吸收铵氮后, 谷氨酸、天门冬氨酸和精氨酸的代谢非常活跃, 累积量也很高, 尤其是精氨酸的累积最为显著。

谷氨酸是氮代谢中最主要的一种氨基酸, 它是氮同化的直接产物。谷氨酸、天门冬氨酸与酮酸的氨基转移可以形成其它氨基酸。龙须菜吸收铵氮后, 首先是谷氨酸的大量合成, 到第 18 天, 藻体谷氨酸的含量就增加了一倍; 到第 24 天, 天门冬氨酸的含量也有明显增长。精氨酸的含量在实验开始时很低, 在铵氮吸收后迅速上升, 在第 30 天实验结束时, 施肥组藻体精氨酸含量竟与谷氨酸含量相同, 成为含量最高的氨基酸。在所有氨基酸中, 一个精氨酸分子所含的氮原子数是最高的(6C:4N)。看来, 在龙须菜中以精氨酸的形式累积已经同化的氮是很经济的。

在小球藻 (*Chlorella ellipsoidea*) 中曾经观察到, 吸收铵氮后藻体内游离氨基酸含量增加很快, 增加最显著的是精氨酸^[13]。造成游离氨基酸在微藻中大量累积的原因可能是酶反应速度限制了蛋白质的合成^[14]。在龙须菜中, 谷氨酸、天门冬氨酸和精氨酸的大量累积也可能是类似的机理造成的。

(2) 游离低分子碳水化合物变化及其同游离氨基酸的关系 乙醇提取的游离低分子碳水化合物的纸层析和气相色谱分析结果表明, 提取液中的游离碳水化合物主要是红藻糖苷, 此外还有微量的半乳糖和甘露醇,

以看出,此时施肥组藻体总氮也有所下降。对应总氮的变化,红藻糖苷含量也发生变化,由 28.6mg/g 上升到 57.2mg/g,增加幅度几乎与对照组相同。直至施肥组中总氮回升到 2.0% 以上,红藻糖苷的含量才稳定在一定的水平上,不再上升。这说明,即使在施肥组,藻体含氮量一旦降低,红藻糖苷的含量也会迅速增加,并储备在藻体内。

红藻糖苷是红藻重要的光合产物和储备物质。用同位素标记红藻 1h,红藻糖苷可占到被标记物的 1/3—2/3,其余标记物为游离氨基酸和少量中间代谢物有机物、磷酸酯^[14]。这说明,光合作用固定的碳很快就转变成低分子碳水化合物红藻糖苷和低分子含氮化合物游离氨基酸。对比图 1 可以看出,施肥组的游离氨基酸含量是对照组的 5 倍,而对照组的红藻糖苷含量是施肥组的 2 倍。这表明,在有足够的氮可供吸收利用的情况下,光合作用固定的碳与吸收的铵氮同化,形成游离氨基酸。在龙须菜中主要是累积谷氨酸、天门冬氨酸和精氨酸;一旦没有足够的氮,随着游离氨基酸累积的减少,用于构成氨基酸碳骨架的碳转而合成红藻糖苷,在氮饥饿状态下,红藻糖苷的累积就表现得特别明显。从相关分析的结果看,总氮、蛋白质、游离氨基酸与总碳水化合物的负相关程度都不如游离氨基酸和游离红藻糖苷的负相关程度高。对照组藻体中游离氨基酸和游离红藻糖苷的负相关系数为 $r = -0.98(p < 0.005)$ 。这些结果均说明,氮素营养对龙须菜含氮化合物和碳水化合物组成的影响,以对游离氨基酸和游离红藻糖苷的影响最大。

3. 组分糖的变化及其累积特点

(1) 组分糖的变化及其与氮代谢的关系 在本实验条件下用甲醇氯化氢分解龙须菜藻粉所作的气相色谱分析测出龙须菜的 4 种组分糖: 半乳糖、3.6 内醚半乳糖、葡萄糖和木糖。大部分半乳糖、3.6 内醚半乳糖来自半乳糖,少量来自红藻糖苷;葡萄糖主要来自红藻淀粉^[18];木糖来自木聚糖。

由图 4 可见,施肥组藻体中这 4 种糖含量没有显著变化,表明在藻体总氮基本不变的情况下,糖的累积趋向稳定;而在对照组中,这 4 种糖的含量都有不同程度的增加。

从图 4a 看葡萄糖的变化。在对照组中葡萄糖的含量从实验开始时的 66.5mg/g 上升到实验结束时的 140.3mg/g,达干重的 14%,是施肥组的 2 倍。葡萄糖的变化反映了藻体内红藻淀粉的变化。在氮饥饿状态下,红藻淀粉的累积有比较明显的增加。

红藻淀粉也是红藻重要的光合产物和储备物质,它以颗粒状存在于藻体细胞质中。对单细胞的紫球藻 (*Porphyridium purpureum*) 的研究表明,在对数生长期结束时,红藻淀粉累积量最高^[21],但是作者没有同时研究它的氮素变化。在对叶江蓠 (*Gracilaria foliifera*) 化学组成年变化的研究中发现,红藻淀粉的含量在 6 月份最高,达 340mg/g,作者推测可能是氮不足限制生长造成了这一结果^[20]。我们的实验结果表明,红藻淀粉的含

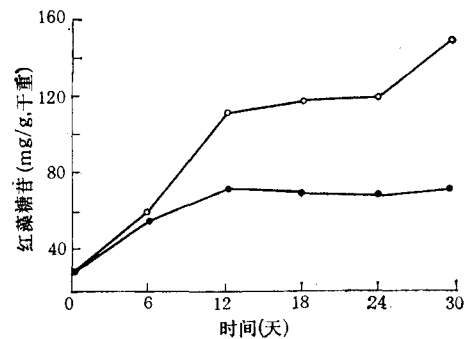


图 3 龙须菜藻体内游离红藻糖苷含量的变化
Fig. 3 Changes of floridoside in both nitrogen enriched and nitrogen starved *Gracilaria sjoestedii*

量只是在对照组中才有明显的提高,显然是氮饥饿加快了藻体内红藻淀粉的累积。

藻体中半乳糖、3,6内醚半乳糖含量的变化见图4b,c。对照组藻体半乳糖含量由实验开始时的271.9mg/g上升到417.8mg/g,增加了54%,在实验结束时较施肥组高42%;3,6内醚半乳糖含量由85.1mg/g上升到99.2mg/g,增加了17%,在实验结束时较施肥组高7%。半乳聚糖存在于龙须菜的细胞壁与细胞间质,它的含量在龙须菜中最丰富。以其组分糖半乳糖和3,6内醚半乳糖含量计算,在龙须菜中可占碳水化合物总量的60%以上。实验结果表明,在氮饥饿状态下,半乳聚糖的累积有增加,这与近年来报道的藻体含氮量低的江蓠,其琼胶产率高的结果是一致的^[4,10]。这也预示着,在龙须菜养殖的后期,可以停止施肥,以利于半乳聚糖的累积,达到提高琼胶产率的目的。

实验结果还表明,在氮饥饿的藻体中,半乳聚糖的这两种组分糖的累积量是有差别的,其中半乳糖的增加幅度明显高于3,6内醚半乳糖,说明此时半乳聚糖中3,6内醚半乳糖的比例较低。据报道,从含氮量不同的江蓠克隆提取的琼胶中,含氮量低的,半乳糖含量略高,3,6内醚半乳糖含量略低,琼胶质量也有所下降^[8]。本实验的结果与这一报道是一致的。由于龙须菜中半乳聚糖的级分比较复杂,因此,氮饥饿的藻体中哪一种级分的半乳聚糖增加的量最多,其中两种组分糖的比例如何,它们与琼胶的凝胶强度关系如何,都还需要进一步的研究。

由图4d可见,藻体中测得的木糖较少,最高含量仅为18.4mg/g。在氮饥饿状态下,对照组藻体木糖含量较施肥组略高。木糖为藻体细胞壁的组成成分,在本实验提取条件

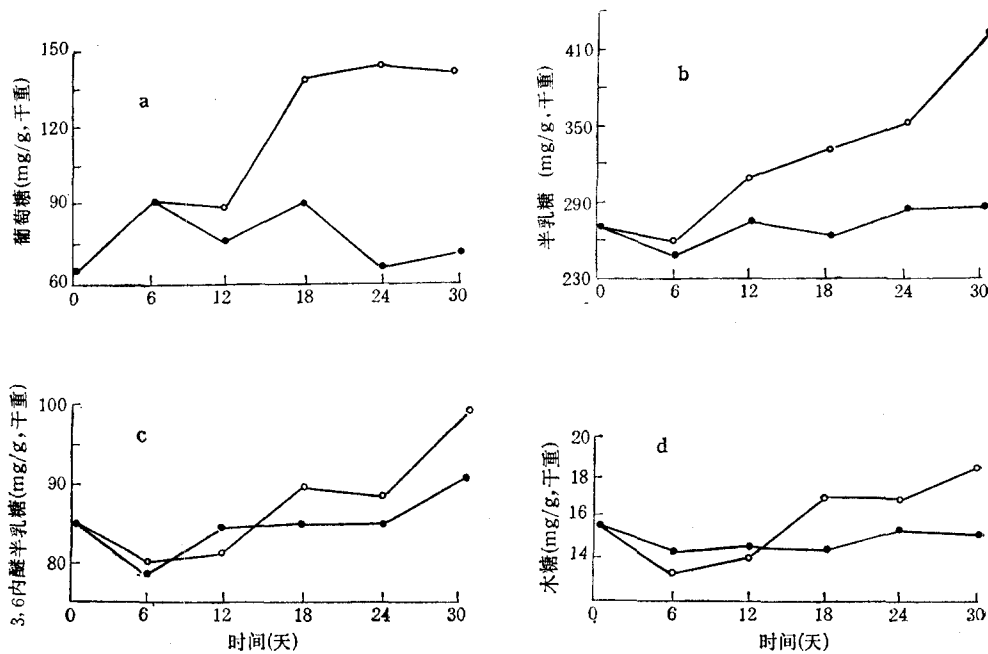


图4 龙须菜藻体内组分糖含量的变化

Fig. 4 Changes of component saccharides in both nitrogen enriched and nitrogen starved *Gracilaria sjostedtii*

a. 葡萄糖; b. 半乳糖; c. 3,6内醚半乳糖; d. 木糖。

下,没有对这一部分细胞壁完全分解并加以研究。

(2) 碳水化合物的累积特点 分析结果表明,在氮饥饿状态下,龙须菜藻体内红藻糖苷、红藻淀粉、半乳聚糖和木聚糖的含量都发生了变化。这些变化不仅有程度上的差异,而且还反映出,随着氮饥饿持续时间的长短,各种碳水化合物的累积在时间顺序上也是不同的。在氮饥饿初期,藻体总氮降到 2% 以下时,游离状态存在的低分子碳水化合物红藻糖苷首先迅速增加;当持续到第 12 天时,红藻糖苷的含量达 116mg/g,累积速度开始趋于缓和,而这时以颗粒状态存在于藻体细胞质的多糖红藻淀粉却开始迅速增加;到第 18 天,红藻淀粉的含量达到很高的水平,以后累积停滞下来。藻体中含量最丰富的、存在于细胞壁和细胞间质的多糖半乳聚糖在氮饥饿的初期累积并不明显,但随着时间的推移和氮饥饿的加重,累积速度逐渐加快。最快阶段是在第 24 天—第 30 天,此时藻体严重缺氮,总氮值仅 1.1%。由此,龙须菜体内各种碳水化合物含量和累积顺序的变化,对我们了解在氮饥饿状态下,藻体内各种不同的碳水化合物的累积规律,提供了初步的认识。

三、结 论

1. 间歇施肥可以使龙须菜保持较高的生长速度,获得较高的产量。
2. 龙须菜吸收铵氮后,游离氨基酸中的谷氨酸、天门冬氨酸和精氨酸含量增加明显,其中精氨酸含量增加最明显。在氮饥饿状态下,游离碳水化合物红藻糖苷含量增加最显著。这说明,氮素营养对龙须菜含氮化合物和碳水化合物的影响,以对游离氨基酸和游离红藻糖苷为最大。此外,藻体中总氮、蛋白质和游离氨基酸同总碳水化合物的含量存在着明显的负相关,而以游离氨基酸和红藻糖苷的负相关程度为最高。
3. 氮饥饿的初期,碳水化合物的累积以游离低分子碳水化合物红藻糖苷为主,而后转向大量累积细胞质内颗粒状多糖红藻淀粉;到后期,细胞壁和细胞间质多糖半乳聚糖的累积才有明显的加快。
4. 在氮饥饿状态下,龙须菜各组分糖含量有不同程度的增加,其中半乳聚糖的增加预示着在龙须菜养殖后期停止施肥,可以达到提高琼胶产率的目的。

参 考 文 献

- [1] 纪明侯、蒲淑珠、牛仁庆,1981。不同海区生长的条斑紫菜的氨基酸含量变化。海洋与湖沼 12(6): 522—529。
- [2] 张燕霞、范 晓,1985。海藻糖类的气相色谱分析 II。红藻及红藻多糖中 D-半乳糖和 3,6-内醚半乳糖的测定。海洋科学集刊 25: 73—80。
- [3] 高凤鸣、张淑华、汪心源、梁作平、许 玲、吴宝山,1980。次溴酸钠氧化法测定海水中铵氮的研究。海洋湖沼通报 4: 41—46。
- [4] Bird, K. T., M. D. Hanisak and J. Ryther, 1981. Chemical quality and production of agars extracted from *Gracilaria tikvahiae* grown in different nitrogen enrichment conditions. *Bot. Mar.* 24: 441—444.
- [5] Bird, K. T., C. Habig and T. Debusk, 1982. Nitrogen allocation and storage patterns in *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta). *J. Phycol.* 18: 344—348.
- [6] Chapman, A. R. O. and J. S. Craigie, 1977. Seasonal growth in *Laminaria longicruris*: relations with dissolved inorganic nutrients and internal reserves of nitrogen. *Mar. Biol.* 40: 197—205.
- [7] Conover, S. A. M., 1975. Partitioning of nitrogen and carbon in cultures of the marine diatom *Thalassiosira flavianilis* supplied with nitrate, ammonium, or urea. *Mar. Biol.* 32: 231—246.
- [8] Craigie, J. S., Z. C. Wen and J. P. Van der Meer, 1984. Interspecific, intraspecific and nutritionally determined variations in the composition of agars from *Gracilaria* spp. *Bot. Mar.* 27: 55—61.

- [9] Dewes, C. J., J. M. Lawrence, D. P. Cheney and A. C. Mathieson, 1974. Ecological studies of Floridian *Eucheuma* (Rhodophyta, Gigartinales) III. Seasonal variation of carrageenan, total carbohydrate, protein and lipid *Bull. Mar. Sci.* 24: 286—299.
- [10] DeBoer, J. A., 1978. Effects of nitrogen enrichment on growth rate and phycocolloid content in *Gracilaria foliifera* and *Neoagardhiella baileyi* (Florideophyceae). *Proc. Int. Seaweeds Symp.* 9: 263—271.
- [11] Demanche, J. M., H. C. Curl, D. W. Lundy and P. L. Donaghay, 1979. The rapid response of the marine diatom *Skletonema costatum* to changes in external and internal nutrient concentration. *Mar. Biol.* 53: 323—333.
- [12] Gorham, J. and S. A. Lewey, 1984. Seasonal changes in the chemical composition of *Sargassum muticum*. *Mar. Biol.* 80: 103—107.
- [13] Hattori, A., 1958. Studies on the metabolism of urea and other nitrogenous compounds in *Chlorella ellipsoidea* II. Changes on levels of amino acids and amides during the assimilation of ammonia and urea by nitrogen-starved cells. *J. Biochem.* 45: 57—64.
- [14] Kremer, B. P., 1978. Patterns of photoassimilatory products in pacific Rhodophyceae. *Can. J. Bot.* 56: 1655—1660.
- [15] Lapointe, B. E. and C. S. Duke, 1984. Biochemical strategies for growth of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta) in relation to light intensity and nitrogen availability. *J. Phycol.* 20: 488—495.
- [16] Laycock, M. V. and J. S. Craigie, 1977. The occurrence and seasonal variation of gigartinine and L-citrullinyl-L-arginine in *Chondrus crispus* Slackh. *Can. J. Biochem.* 55: 27—30.
- [17] Lowry, O. H., N. G. Rosebrough, A. L. Farr and R. J. Randall, 1951. Protein measurements with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265—275.
- [18] Majak, W., J. S. Craigie and J. Meclachlan, 1966. Photosynthesis in algae I. accumulation products in the Rhodophyceae. *Can. J. Bot.* 44: 541—549.
- [19] Riddell, W. A., 1936. The reduced-strychnine method for determining nitrates in sea water. *Biol. Board of Canada.* 2(1): 1—11.
- [20] Rosenberg, G. and J. Ramus, 1982. Ecological growth strategies in the seaweeds *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae): soluble nitrogen and reserve carbohydrates. *Mar. Biol.* 66: 251—259.
- [21] Sheath, R. G., J. A. Hellebus and T. Sawa, 1979. Floridean starch metabolism of *Porphyridium purpureum* (Rhodophyta) I. Changes during ageing of batch culture. *Phycologia* 18(2): 149—163.

EFFECT OF AMMONIUM-NITROGEN ON GROWTH AND CHEMICAL COMPOSITION OF *GRACILARIA* *SJOESTEDTII* KYLIN*

Huang Xiaohang, Wen Zongcun and Wu Chaoyuan

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao*)

ABSTRACT

Effect of ammonium-nitrogen on growth and chemical composition of *Gracilaria sjoestedtii* Kylin was investigated. The nitrogen starved plants were fertilized intermittently with 10 mol/L $\text{NH}_4\text{-N}$ for 1 h at 3 day intervals. The results are as follows:

- (1) The growth rate and yield were high in the plants fertilized intermittently.
- (2) After nitrogen fertilization, the contents of free amino acids, especially those of glutamate, aspartate and arginine, increased obviously. In the nitrogen starved plants, the low molecular weight carbohydrate, floridoside, increased distinctly. This suggests that the levels of free amino acids and floridoside would easily be affected by the fluctuation of nitrogen available. The contents of total nitrogen, protein and free amino acids have reverse relationship with the contents of carbohydrate.
- (3) Different saccharide components increased in varying degrees in nitrogen starved plants. At initial stage of nitrogen starvation, the accumulation of floridoside increased prominently. Afterwards the accumulation of floridean starch predominated. In later period of nitrogen starvation, the accumulation of galactan was accelerated, suggesting the increase of phycocolloid content. The halting of nitrogen fertilization prior to harvesting should increase the content of phycocolloid in cultivated *Gracilaria sjoestedtii*.

* Contribution No. 1550 from the institute of Oceanology, Academia Sinica.