

综述

葛仙米研究进展

邓中洋^{1,2} 阎春兰³ 胡强⁴ 胡征宇¹(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 湖北师范学院生物系, 黄石 435002;
3. 中南民族大学生命科学院, 武汉 430074; 4. Department of Applied Biological Sciences, Arizona State University,
7001 E. Williams Field Road, Mesa, AZ, 85212 USA)THE RESEARCH ADVANCE OF *NOSTOC SPHAEROIDES*DENG Zhong-Yang^{1,2}, YAN Chun-Lan³, HU Qiang⁴ and HU Zheng-Yu¹(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;
2. Department of Biology, Hubei Normal University, Huangshi 435002;
3. College of Life Sciences, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074;
4. Department of Applied Biological Sciences, Arizona State University, 7001 E. Williams Field Road, Mesa, AZ, 85212 USA)

关键词: 葛仙米; 生理; 营养成分; 培养

Key words: *Nostoc sphaeroides*; Physiology; Nutritive components; Cultivation

中图分类号: Q949.22*5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2008)03-0393-07

葛仙米, 俗称田木耳、天仙米, 学名球状念珠藻 (*Nostoc sphaeroides* Kützing)。本文以采自于湖北鹤峰县走马坪镇水稻田中的葛仙米为材料, 综合近年来国内外文献对葛仙米的研究报道, 从葛仙米的分类地位、生活史、生理生态、营养成分和资源利用与开发四个方面进行讨论, 并对今后葛仙米的研究提出几点意见。

1 葛仙米的分类地位、产地、生活史

1.1 葛仙米的分类地位 葛仙米有 1500 多年的食用历史^[1], 传云: 晋葛洪隐此乏粮, 采以为食, 故名^[2]。葛仙米是一种多细胞群体的淡水藻类, 其主要形状为球形, 少数为纺锤形、椭圆形、哑铃形或扁平状, 与地木耳 (*N. commune*)、发菜 (*N. flagelliforme*) 同属蓝藻门 (Cyanophyta)、蓝藻纲 (Cyanophyceae)、段殖藻目 (Hormogonales)、念珠藻科 (Nostocaceae)、念珠藻属 (*Nostoc*)。发菜、地木耳及葛仙米均在原产地作为一种传统食品食用。葛仙米丝状体的外面有一共同的胶质衣鞘, 易形成层状结构, 比较坚固^[3], 呈墨绿色^[4]。野生群体直径可以达到 2cm^[5], 作者培养的葛仙米直径可以达

到 5.4cm。

1.2 产地 葛仙米在我国的主要分布地是湖北鹤峰县走马坪镇, 生于水稻田中^[5-10], 为圆球状群体。湖北的房县^[10]、陕西的灵丘、湖北神农架林区、广西北流、广东仁化^[5]、江西井冈山^[11]、安徽九华山^[12]与潜山^[13]、山东^[14]及烟台^[15]等地也有报道, 故也有人认为在全国均有分布^[16,17]。对于葛仙米产地的认识并不统一, 一方面原因是因人而异的判断不同; 另一方面是一部分人将葛仙米和地木耳认为是一个种。正因为如此, 有些文献将 *N. commune* Vaucher 用作葛仙米的拉丁文名, 或直接用拼音 Ge-Xian-Mi^[4,5,18,19]代替。就鹤峰葛仙米的生长特性及生境等而言, 葛仙米和地木耳 (*N. commune*) 并不能等同^[5,20]。葛仙米主要生长在湖北鹤峰走马坪镇的水稻田中, 生长期是 11 月至次年的 5 月^[3,5]。地木耳是世界广生种, 在我国分布十分广泛, 生长在地边、路旁、山坡地、荒地上或潮湿的草丛、林地, 主要生长期在雨后^[20]。

在湖北鹤峰的走马坪镇约有 796ha 稻田适于葛仙米的生长, 位于北纬 29°38', 东经 110°38', 海拔 960 米。分布区年

收稿日期: 2006-03-21; 修订日期: 2007-06-24

基金项目: 科技部科技型中小企业技术创新基金资助 (04EFN216600329); 国家星火计划管理项目 (2005EA173005) 资助

作者简介: 邓中洋 (1976—), 湖北嘉鱼人; 博士; 主要从事藻类规模化培养研究。现在工作于 Algaen Corporation, NC, USA; E-mail: dengculture@yahoo.com

通讯作者: 胡征宇, E-mail: huzy@ihb.ac.cn

平均气温约为 12.2℃, 冬季最低气温为 -14.5℃, 年平均日照时数为 1342h, 无霜期为 220d。生长期是 11 月至次年的 5 月, 在水稻收割后的 11 月份可见到明显的葛仙米藻体。次年二月, 藻体形成肉眼可见的坚实球体, 直径可达 2cm, 最佳的采收时期是每年三月到四月。五月份水稻秧苗移栽后在这些稻田中就很难找到葛仙米的踪迹^[5,19]。葛仙米最高年产量曾达 25t 干藻体。现在由于耕作方式、农药化肥的使用, 使其产量大大降低, 在走马坪镇的个别地方甚至已经绝迹, 如今其年产量锐减至 0.5t, 主要在当地销售^[5,19]。由于野生资源锐减, 及其良好的营养^[8,21-24] 和潜在的药用价值^[25,26], 葛仙米的人工培养具有一定的开发价值和前景。

1.3 葛仙米的生活史

1.3.1 形态发育

以葛仙米的藻殖段或丝状体为起点, 研究了葛仙米在光合自养和异养条件下的发育过程。在自养条件下, 藻殖段或丝状体均经过细胞分裂形成非丝状体群体, 最终形成丝状体; 在异养条件下, 在葡萄糖培养基中只有部分细胞具有分裂能力并形成非丝状体群体, 另外一些细胞不能进行正常发育并失去红色的自发荧光, 同时群体也能够释放出藻丝或藻殖段, 重新形成新的群体^[9]。

实验室内培养的葛仙米群体直径可以达到 54mm。在葛仙米群体由小到大增长的过程中, 除直径不断增加外, 群体的外部特征无明显变化, 但其内部横切结构发生明显变化。群体直径为 1mm 时, 所有的藻丝无规则地均匀分布在共同的胶鞘以内。随着群体直径的增加, 葛仙米的横切上依次出现致密点、环状结构、或有或无核心, 群体中央变为液态, 最后直至群体发生破裂消失。同时, 藻丝的排列、不同位置藻丝的长短也呈现一定的规律。在直径 2mm 以下时, 群体内部和表层藻丝的长短无明显差异, 排列也无明显规律; 随着群体直径的增加, 群体表层的藻丝呈放射状排列, 内部藻丝排列无规律, 长度变短。培养光强和温度也影响葛仙米群体内部结构变化^[27]。

1.3.2 发育过程中的细胞化学变化

在藻殖段形成丝状体群体的发育过程中, 群体的酸性多糖染色逐渐变浓, 形成非丝状体群体。群体初期达到最大, 随后逐渐降低, 之后又稍有上升。硫化多糖的含量总是随着发育过程而逐渐增加。通过定量测定, 藻体总糖含量逐渐升高, 到丝状体群体达到最高; 还原性多糖在藻殖段时最高, 酸性多糖的变化正好相反^[9]。

2 葛仙米的生理学研究

2.1 藻殖段的分化

葛仙米藻殖段的分化与预培养时培养基的磷、钾元素和渗透效应没有直接关系; 当对数生长的葛仙米群体转移到新鲜的 BG-11₀ 培养基后, 无论其预培养的培养基如何, 均有藻殖段的分化; 而静止期的藻体, 不能诱导出藻殖段的产生。藻殖段的释放也与藻体预培养有关, 不完全的培养基预培养有利于藻殖段的释放^[9,28]。

钙调素拮抗剂 W-7 和 FPZ (Fluophenazine) 均可抑制葛仙米藻殖段的分化。利用 FPZ 作为荧光染色剂发现, 经过钙调

素拮抗剂处理的藻体有较低的钙调素分布。一定浓度的金属离子螯合剂 EDTA 也能抑制藻殖段分化。此外, 一氧化氮 (NO) 可以大大降低葛仙米藻殖段的分化率, 一氧化氮合成酶 (NOS) 的抑制剂 NNA 也可以抑制藻殖段的分化。外源加入氧自由基也能抑制藻殖段的分化, 但是氧自由基的清除物过氧化氢酶 (CAT) 也使藻殖段分化完全受抑制。这表明葛仙米藻殖段分化是个复杂的、信号转导参与的过程^[29]。

2.2 水分胁迫

在渗透系统中, 葛仙米轻微失水就导致叶绿素的 Fv/Fm 上升; 水势继续降低时, Fv/Fm 快速下降。在自然失水时, 藻体在失去总水分的 94% 以后, Fv/Fm 开始急剧下降。干燥藻体吸水后 Fv/Fm 的恢复速率随着储藏时间的延长而下降, 并且 Fv/Fm 的恢复对光和蛋白质的重新合成有依赖性^[30]。

2.3 盐胁迫

李敦海等^[31] 报道, 当 NaCl 浓度低于 0.2 mol/L 时, 葛仙米叶绿素荧光 Fv/Fm 的比值随着盐浓度的上升而缓慢下降; 当浓度高于 0.2 mol/L 时, Fv/Fm 的比值与盐浓度呈明显的线性关系, 急剧下降。随着盐浓度的增加, 光合放养速率、PS I、PS II 的活性均有下降。同时外源脯氨酸对 Fv/Fm 由于盐胁迫而降低的缓解作用并不十分明显, 丙二醛的含量随着胁迫的增加而上升^[32]。李运广^[33] 的结果显示: 葛仙米中脯氨酸的含量随着盐浓度的增加而降低, 可溶性糖的含量在 NaCl 小于 0.2mol/L 时随着浓度的升高而增加, 增幅为 100%—1100%; 当高于 0.4 mol/L 时, 质膜透性随着盐浓度的增加而逐渐增加。

2.4 毒理学效应

除草剂的广泛使用被认为是葛仙米产量下降的一个重要因素。试验表明: 当除草剂 Thiobencarb 的浓度超过 2mg/L 会导致葛仙米藻胆蛋白的含量显著降低, 但对叶绿素的含量影响不明显; 生物产量、蛋白质含量和光合速率仅仅在 Thiobencarb 的浓度为 10mg/L 时降低; 和对照相比, 低浓度 (4mg/L) 的 Thiobencarb 对葛仙米高光胁迫的影响不明显, 当 Thiobencarb 的浓度为 10mg/L 时会增强高光胁迫的效果^[34]。

2.5 无机碳的利用

葛仙米能够直接利用 HCO₃⁻ 进行光合作用, 光合放氧速率高于 HCO₃⁻ 非催化脱水产生 CO₂ 的理论速率。通空气培养的葛仙米具有多种 CO₂ 和 HCO₃⁻ 转运子 (Transporter)。Na⁺ 依赖性 HCO₃⁻ 转运是葛仙米最主要的主动获取无机碳的方式, 在 250μmol/L K₂CO₃ 及 pH 8.0 条件下对葛仙米净光合作用的贡献为 53%—62.8%。而 CO₂ 转运系统与 Na⁺ 非依赖性 HCO₃⁻ 转运子的贡献较小, 分别为 39.4% 和 7.6%。葛仙米胞内无机碳的积累引起稳态荧光水平下降, 光化学淬灭升高。初始阶段的荧光淬灭主要是由于无机碳转运所致, 加入 CO₂ 固定的抑制剂 Iodoacetamide, 荧光淬灭的初始速率为对照的 87.9%。荧光淬灭的初始速率及淬灭程度都随着胞外 DIC (可溶性无机碳) 浓度的升高而升高, 当 HCO₃⁻ 浓度大于 200μmol/L 时趋于饱和。葛仙米的无机碳运转能够消耗过剩激发能, 保护光合器官免受损伤。在 100—10000μmol/L K₂CO₃ 范围内, 随着胞外 DIC 浓度升高, 强光引起的光抑制加剧^[18,19]。

2.6 空间飞行对葛仙米的影响 为了满足长期的太空飞行过程中氧气、食物的供应和 CO₂ 的消耗及日常生活废物的再利用,可以通过研制可控生态生命支持系统 (Controlled ecological support system) 来得以解决。而研制生命支持系统需要寻找合适的生物物种,许多水生生物是合适的候选者,葛仙米可能就是其中的一种。利用遥感技术监测葛仙米在神州二号飞船上封闭系统的生长情况,在太空微重力条件下葛仙米的生长速率比在太空 1g 离心力和地面的生长速率要高,在太空 1g 离心力和地面的生长速度相同,重力是影响生长速率差异的主要原因^[35]。空间飞行后葛仙米的存活率、光合活性显著降低^[36]。

2.7 葛仙米群体直径对生长生理的影响 和大群体相比,

小群体具有更快的生长速度、较高的最大净光合速率、表观量子产量、光饱和点和光补偿点、暗呼吸及光合效率。而且小群体也具有较高的可溶性无机碳的亲合力与可溶性无机碳饱和和光合效率,同时表现出较强的光胁迫抵抗能力和恢复能力^[4,37-39]。

3 葛仙米的营养成分分析

由表 1—表 4 可以看出,葛仙米的营养成分差别很大,各研究者的报道差异很大。蛋白质的含量为 28.38%—52%,含人体所必需的 7 种氨基酸,占总氨基酸含量的 40% 以上;粗脂肪的含量为 5.34%—8.11%;灰分为 9.564%—14.63%;总糖为 24.19%。

表 1 葛仙米的生化组成

Tab.1 Biochemical composition of *Nostoc sphaeroides* kützing

生化组成 Biochemical composition	含量 Content(%)			
	野生 ^[8] Wild	野生 ^[21] Wild	野生 ^[22] Wild	培养 ^[23] Cultivation
蛋白质 Protein	28.38	48.61	52	47.83
粗脂肪 Crude fat	5.34	8.11		7.280
灰分 Ash	14.63	10.88		9.564
总糖 Total Sugar	24.19			

表 2 每 100g 葛仙米蛋白质中氨基酸的组成

Tab.2 Amino acid composition of *Nostoc sphaeroides* kützing per 100g protein

氨基酸组成 Amino acid composition	含量 Content(%)			
	野生 ^[8] Wild	野生 ^[21] Wild	野生 ^[22] Wild	培养 ^[23] Cultivation
天冬氨酸 (Asp)	13.533	16.50	2.918	3.031
苏氨酸 (Thr)	9.208	8.97	11.892	17.051
丝氨酸 (Ser)	5.054	6.19	5.107	7.019
谷氨酸 (Glu)	11.563	14.15	1.514	3.351
甘氨酸 (Gly)	6.381	6.20	2.233	2.996
丙氨酸 (Ala)	7.538	6.00	3.597	1.872
胱氨酸 (Cys)	0.728	—	1.588	0.149
缬氨酸 (Val)	8.394	4.58	4.460	3.585
蛋氨酸 (Met)	0.043	—	1.073	1.117
异亮氨酸 (Ile)	6.510	6.67	6.009	4.170
亮氨酸 (Leu)	7.794	8.58	8.069	5.287
酪氨酸 (Tyr)	2.099	2.89	2.790	1.042
苯丙氨酸 (Phe)	6.039	6.36	3.567	3.284
赖氨酸 (Lys)	4.068	4.33	4.549	6.700
组氨酸 (His)	1.242	0.154	1.703	1.127
精氨酸 (Arg)	5.867	2.15	4.481	4.091
脯氨酸 (Pro)	3.940	微量	1.931	3.127

注:色氨酸 (Trp) 在处理的过程中被破坏 Tryptophan is destroyed by acid hydrolysis and it is not determined

表3 葛仙米中元素的含量

Tab.3 Chemical composition of *Nostoc sphaeroides*

元素名称 Chemical composition	含量($\mu\text{g/g}$ 干样) Content ($\mu\text{g/g}$ dry sample)	
	野生 ^[8] Wild	野生 ^[22] Wild
C*	36.62 (DW%)	
H*	6.21 (DW%)	
N*	4.54 (DW%)	
K	0.031	0.030
Na	0.015	
Ca	2.30	2.640
Zn	0.0013	0.012
Cu	0.0005	0.0016
Fe	0.17	0.404
Mn	0.0085	0.0094
Mg	0.53	0.660
P		0.130
S		0.200
Ge		0.600
Si		1.000
Ba		0.0052
Sr		1.200
Al		0.344
Y		0.001

* C、H、N 含量为干重百分比

* The content of C, H and N is the percentage of dry weight

表4 葛仙米中维生素的含量

Tab.4 Vitamin content of *Nostoc sphaeroides*

维生素 Vitamin	含量(mg/100g干样) Content (mg/100g dry sample)			
	野生 ^[21] Wild	野生 ^[22] Wild	野生 ^[23] Wild	培养 ^[23] Cultivation
V _{B1}	1.2	2.63	12	21
V _{B2}	11.8	0.58	118	147
V _C	550	521	550	531
V _E	7.0		70	68
β -Carotene	114		114	84

在野生葛仙米的矿质元素中,葛仙米含有丰富的 Ca、Mg、Fe 等为人体所需要的大量元素,还有 Cu、Zn、Mn 等人体需要的微量元素。葛仙米中元素的含量与其生长环境中的元素的含量有一定的关系,野生环境中含量高的元素在葛仙米中含量也高^[5,8,22]。野生葛仙米^[21-23]含有丰富的 V_{B1}、V_{B2}、V_C、V_E。对于培养的葛仙米,V_{B1}、V_{B2}、V_E的含量明显低于野生葛仙米^[21,24]。

4 葛仙米资源的利用和开发

葛仙米具有悠久的食用、药用价值。葛仙米多糖含量丰富,很多研究证明其具有保健作用。目前,葛仙米野生资源日益枯竭,葛仙米的资源保护和开发利用越来越受到关注。

4.1 葛仙米作为佳肴的记载 葛仙米作为菜肴有史可考:宋代山谷道人黄庭坚将其写入《绿菜赞》诗篇中,誉为山珍;明代的王馨将其编入《野菜谱》,后收入《农政全书》;清代赵学敏所撰《本草纲目拾遗》也有记载^[2,6,40]。清史记载葛仙米为贡品、御膳,末代皇帝溥仪的著作《我的前半生》中有道菜就叫“鸭丁烩葛仙米”^[6]。葛仙米的食用方法有多种:炒、做汤或羹、蒸、凉拌^[7,41]均可。其中冰糖银耳仙米羹汤清甘甜,芬香可口;葛仙拌四丝质地鲜嫩,别有风味;肉米葛仙味美醇香,软润爽口^[42]。

4.2 药用价值 葛仙米作为席间美食,不仅营养极为丰富,而且还具有较高的食疗价值。葛仙米性寒,味甘爽,解热清隔,利肠胃^[2]。据《药性考》:“(葛仙米)清神解热,痰火能疗,且久服延年”^[6]。葛仙米中多糖含量丰富,具有很强的抗补体的活性^[25,26]。随着对葛仙米多糖的深入研究,有望生产出新的制剂或药物。

4.3 葛仙米产品的开发

4.3.1 多糖的提取 葛仙米中含有丰富的多糖。多糖具有许多生物活性,包括抗肿瘤、免疫、降血糖、抗病毒等,在临床应用方面具有良好的前景。用热水提取葛仙米的天然样品和人工培养物及去细胞培养液中分离胞外聚合物(EPS)^[43],天然葛仙米多糖的主要单糖组分为葡萄糖、半乳糖和木糖,摩尔比约为 2:1:1,此外还含有甘露糖,所占比例为 15%;人工培养的葛仙米多糖中含有鼠李糖、墨角藻糖、木糖、甘露糖、半乳糖和葡萄糖,其中葡萄糖为最主要的单糖。从葛仙米有氮或无氮培养基中分离出来的 EPS 的含糖量很低^[25,26]。水溶性多糖的最佳提取参数是:90℃,6h,1:90 加水,水提取 4 次,其提取率是 14.09%;碱溶性多糖的最佳提取参数是:1mol/L 的 NaOH 溶液,提取 6h,加 1:25 的碱液,提取 4 次,其提取率是 5.70%^[44]。

4.3.2 产品开发相关的技术 葛仙米由于其丰富的营养和药用价值,可以深加工,以提高产品的附加值。目前,国内有很多葛仙米深加工技术。用反复冻融的办法可以提高蛋白质的溶出率^[45]。陈超等提供了葛仙米饮料的制作方法^[46],饮料脱腥味技术^[47]和一种最佳的葛仙米护色方案^[48]。汪兴平等^[49]研制了葛仙米羹。今后随着葛仙米产业的进一步发展,将会出现更多的与葛仙米产品开发相关的规模化培养、品系筛选、保鲜等技术。

4.3.3 葛仙米的人工培养 为了让更多的人品尝到这种珍稀藻类,应该采取适当措施保护好葛仙米的野生资源,同时进行开发研究,最终走工厂化培养葛仙米的道路。

从 20 世纪 70 年代开始,中国科学院水生生物研究所就开始了葛仙米的研究,黎尚豪院士将其作为一种潜在的可供利用的稻田固氮蓝藻,并在人工条件下进行了初步的培

养^[5,9]。后来在许多研究人员的共同努力下,葛仙米的培养取得了较大的进展。刘永定等^[50]开展了葛仙米的培养工作,首次系统地介绍了葛仙米的培养方法。陈超等对葛仙米的生长和繁殖条件作了简要的探讨,认为葛仙米的最适培养温度为 10—30℃,pH 为 6.0—7.5^[51]。目前中国科学院水生生物研究所已经成功的实现了葛仙米室内和室外培养,其人工养殖技术通过了湖北省科技厅组织的科技成果鉴定。室内大量培养的规模达到 5000L,月最高产量可达到 297.4kg (鲜重),月均生产量为 180.9kg (鲜重)^[24,27]。室内培养的优点:同一批培养的葛仙米群体直径均匀,也可以根据实际需要来选择群体直径的大小,不含泥沙、干净,且受季节影响不明显,一年四季都能够培养和提供葛仙米鲜品;缺点:能量消耗大,生产成本高。在室外利用跑道式培养池 (Raceway pond) 进行培养,太阳光作光源,搅拌轮进行搅动,目前生产率最高可以达到 200g/m²·d。2005 年 12 月 20 日至次年 5 月 19 日在中国科学院水生生物研究所楼顶利用 40L 的玻璃缸培养葛仙米,整个培养期间,记录到培养液的温度波动范围为 0—30.8℃,中午 12:00 光强波动范围为 21—1856 μmol photons/m²·s,葛仙米的平均生产率和最高生产率分别为 1.569、5.354g/L·d (鲜重)。目前在室外利用跑道式培养池生产葛仙米,群体容易发生破裂,严重降低产量。采用合适的方法已经能够将杂藻控制在较低的水平^[52]。

5 展 望

葛仙米食用药用历史悠久,具有丰富的营养价值。但是野外葛仙米生长环境的恶化,天然产区的产量不断减少,天然产量和需求的矛盾不可回避。在今后的研究中,我们需要着重注意:(1)人工培养的葛仙米在生长过程中容易发生破裂,降低产量;今后应该加强葛仙米群体破裂的机理研究,为预防和控制室外培养葛仙米群体的破裂提供理论依据。(2)研究葛仙米群体的韧性(或弹性)、色泽、生长潜力与营养成分之间的相互关系,为规模化培养葛仙米现场检测提供一套简单快速鉴别产品质量的依据。(3)筛选出一批抗高温、生长速度快、抗破裂能力强、营养价值高的优良品种或品系,为即将到来的工厂规模化生长建立种质资源库。(4)进一步加强葛仙米多糖等活性成分的研究,为产品的深加工打下基础。

参 考 文 献:

- [1] Potts M. *Nostoc* [A]. In: Whitton B A, Potts M (Eds.), *Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space* [C]. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2000, 465—504
- [2] Zhao X M. The supplement to compendium of material medica, reprint-ed in 1983 by people's medical publishing house [C]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1765, 341—342 [赵学敏.本草纲目拾遗,人民卫生出版社 1983 年重印.北京:人民卫生出版社, 1765, 341—342]
- [3] Chen C, Wang X P, Zhang J N. Protection and utilization of *Nostoc sphaeroides* [J]. *Special Economic Animal and Plant*, 2003, (5): 15—16 [陈超,汪兴平,张家年.葛仙米的保护和利用,特种经济动植物,2003,(5):15—16]
- [4] Gao K, Ai H. Relationship of growth and photosynthesis with colony size in an edible cyanobacterium, *Ge-Xian-Mi Nostoc* (cyanophyceae) [J]. *Journal of Phycology*, 2004, 40: 523—526
- [5] Qiu B S, Liu J Y, Liu Z L, et al. Distribution and ecology of the edible cyanobacterium *Ge-Xian-Mi (Nostoc)* in rice fields of Hefeng County in China [J]. *Journal of Apply Phycology*, 2002, 14: 423—429.
- [6] Bi Y H, Hu Z Y. Nutritional value and utility of *Nostoc sphaeroides* [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2004, 23(1): 40—42 [毕永红,胡征宇.葛仙米的营养价值及其开发利用.中国野生植物资源,2004,23(1):40—42]
- [7] Tan X R. *Nostoc sphaeroides* [J]. *Chinese Special Local Products*, 2000, (3): 30 [谭学儒.葛仙米.中国土特产,2000,(3):30]
- [8] Xia J R, Gao K S. Analysis of biochemical composition of *Nostoc sphaeroides* [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2002, 20(3): 223—224 [夏建荣,高坤山.球形念珠藻的生化组成分析,武汉植物学研究,2002,20(3):223—224]
- [9] Li D H. Studies on morphogenesis, development and physiology of *Nostoc sphaeroides* Kützling (cyanobacterium) [D]. Doctoral dissertation. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2000 [李敦海.拟球状念珠藻(葛仙米)形态建成与发育及其生理学研究.理学博士论文,中国科学院水生生物研究所,武汉.2000]
- [10] Shen Y W, Li S H. Cultivation and application of the Nitrogen-fixing blue-green algae: results and prospects [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1993, 17(4): 357—364 [沈银武,黎尚豪.固氮蓝藻培养和应用的成果和展望.水生生物学报,1993,17(4):357—364]
- [11] Hu W H, Xiao Y A. Investigation of the wild vegetable resource of Jinggangshan Area [J]. *Journal of Ji'an Teacher's College (Natural Science)*, 1998, 19(6): 60—64 [胡文海,肖宜安.井冈山野生蔬菜资源调查.吉安师专学报(自然科学),1998,19(6):60—64]
- [12] Zheng Y, Gong J, Guo X H, et al. Pharmaceutical resources in Jiu-hua Mountain [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004, 24(1): 75—82 [郑艳,巩劼,郭新弧,等.安徽九华山药用资源及评价体系初探.西北植物学报,2004,24(1):75—82]
- [13] Sun D F, Zhang W M, Shi J S, et al. Investigation and exploitation of the wild plant resources in Qianshan Anhui [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2005, 24(2): 14—17 [孙达峰,张卫明,史劲松,等.安徽潜山野生植物资源调查研究及开发利用.中国野生植物资源,2005,24(2):14—17]
- [14] Zhao Z T, Fan S J. Study on the investigation of wild vegetable resources in Shandong Province [J]. *Shandong Science*, 1997, 10(2): 29—34 [赵遵田,樊守金.山东野生蔬菜资源调查研究.山东科学,1997,10(2):29—34]
- [15] Zhang D S. Study on wild vegetable resources in suburbs of Yantai [J]. *Yantai Teachers University Journal (Natural Science)*, 1997, 13(3): 213—216 [张德山.烟台市近郊野生蔬菜资源初报.烟台师范学院学报(自然科学版),1997,13(3):213—216]

- [16] Peng H. The species diversity of plants and agrobiodiversity [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2001, suppl. Ⅱ:28—36 [彭华. 中国西南地区植物资源与农业生物多样性. 云南植物研究(增刊), 2001, Ⅱ:28—36]
- [17] Compilation of countrywide herbal medicine of China (Volume II). Beijing: People's Medical Publishing House. 1983, 608—609 [1983全国中草药汇编(下). 北京: 人民卫生出版社. 1983, 608—609]
- [18] Qiu B S, Liu J Y. Utilization of inorganic carbon in the edible cyanobacterium Ge-Xian-Mi (*Nostoc*) and its role in alleviating photo-inhibition [J]. *Plant, Cell and Environment*, 2004, 27:1447—1458
- [19] Liu J Y. Studies on the CO₂ concentrating mechanism and ecophysiology of the edible cyanobacterium Ge-Xian-Mi [D]. Master dissertation. College of Life Sciences, Central China Normal University, Wuhan. 2004 [刘继勇. 食用蓝藻葛仙米的二氧化碳浓缩机制及其生理生态学研究. 硕士学位论文, 华中师范大学, 武汉. 2004]
- [20] Li D H, Liu Y D. The past decade's researches on *Nostoc commune* Vaucher in China—A review [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(4): 408—412 [李敦海, 刘永定. 近十年中国地木耳研究概况. 水生生物学报, 2003, 27(4): 408—412]
- [21] Wang X P, Chen C, Zhou Z, et al. Nutrition analysis and appraisal of uncultivated *Nostoc sphaeroides* [J]. *Food Science*, 2002, 23(8): 288—290 [汪兴平, 陈超, 周志, 等. 野生葛仙米营养成分分析及评价. 食品科学, 2002, 23(8): 288—290]
- [22] Liu J L. Studies on the nutrient components of *Nostoc sphaeroides* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drug*, 2000, 31: 862—863 [刘金龙. 葛仙米营养成分研究. 中草药, 2000, 31: 862—863]
- [23] Wang X P, Xie B J, Mo K J, et al. Study on nutrients comparison and discussion between the wild and cultivated-indoor species of the *Nostoc sphaeroides* [J]. *Food Science*, 2005, 26(6): 238—241 [汪兴平, 谢笔钧, 莫开菊, 等. 野生与室内培养的葛仙米营养成分比较分析研究. 食品科学, 2005, 26(6): 238—241]
- [24] Deng Z Y, Kuang Q J, Hu Z Y. Mass culture indoors, the structure of colony and analysis of nutrient composition of *Nostoc sphaeroides* [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2006, 24(5): 481—484 [邓中洋, 况琪军, 胡征宇. 葛仙米室内规模化培养、群体显微结构及营养成分分析. 武汉植物学研究, 2006, 24(5): 481—484]
- [25] Huang Z B, Liu Y D, Paulsen B S, et al. Studies on polysaccharides from three edible species of *Nostoc* (cyanobacteria) with different colony morphologies: comparison of monosaccharide compositions and viscosities of polysaccharides from field colonies and suspension culture [J]. *Journal of Phycology*, 1998, 34: 962—968
- [26] Huang Z B. Studies on hot-water soluble polysacchides from filamentous blue-green algae (cyanobacteria) [D]. Doctoral dissertation. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 1997 [黄泽波. 丝状蓝藻水溶性多糖的研究. 博士论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 1997]
- [27] Deng Z Y. Studies on mass culture of *Nostoc sphaeroides* and *N. commune* (Cyanophyta) and the structural and physiological characteristics of *N. sphaeroides* [D]. Doctoral dissertation. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2006 [邓中洋. 葛仙米、地木耳的大量培养及葛仙米形态生理特征研究. 博士论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2006]
- [28] Li D H, Liu Y D, Song L R. Hormogonia mass differentiation from *Nostoc sphaeroides* Kütz. (cyanobacterium) and the comparison of structural characteristics between hormogonia and vegetative filaments [J]. *Phycological Research*, 2001, 49: 81—87
- [29] Li D H, Song L R, Liu Y D. Hormogonia Differentiation in *Nostoc sphaeroides*—A preliminary study on the signal transduction participated process [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2002, 19(3): 328—335 [李敦海, 宋立荣, 刘永定. 念珠藻葛仙米的藻殖段分化—信号转导参与过程的初步研究. 植物学通报, 2002, 19(3): 328—335]
- [30] Li D H, Song L R, Liu Y D. The relationship between water stress and the chlorophyll fluorescence of *Nostoc sphaeroides* (cyanobacterium) [J]. *Plant Physiology Communications*, 2000, 36(3): 205—208 [李敦海, 宋立荣, 刘永定. 念珠藻葛仙米叶绿素荧光与水分胁迫的关系. 植物生理学通讯, 2000, 36(3): 205—208]
- [31] Li D H, Song L R, Liu Y D. Response of photosynthetic activities of *Nostoc sphaeroides* kützing (cyanobacterium) to the salt stress [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23(5): 420—424 [李敦海, 宋立荣, 刘永定. 葛仙米光合活性对盐胁迫的反应. 水生生物学报, 1999, 23(5): 420—424]
- [32] Li D H, Liu Y D, Song L R. The effect salt stress on some physiological and biochemical characteristics of *Nostoc sphaeroides* kützing (cyanobacterium) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23(5): 414—419 [李敦海, 刘永定, 宋立荣. 盐胁迫对葛仙米生理生化特征的影响. 水生生物学报, 1999, 23(5): 414—419]
- [33] Li Y G, Gao K S. Effects of hyperhaline stress on the physiological and biochemical characteristics of *Nostoc commune* and *Nostoc sphaeroides* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(3): 227—231 [李运广, 高坤山. 盐胁迫对地木耳和葛仙米生理生化特性的影响. 水生生物学报, 2003, 27(3): 227—231]
- [34] Xia J. Response of growth, photosynthesis and photoinhibition of the edible cyanobacterium *Nostoc sphaeroides* colonies to thiobencarb herbicide [J]. *Chemosphere*, 2005, 59: 561—566
- [35] Wang G H, Li G B, Liu Y D, et al. Real-time studies on microalgae under microgravity [J]. *Acta Astronautica*, 2004, 55: 131—137
- [36] Wang G H, Chen L Z, Hu C X, et al. Studies on effects of space-flight and irradiation on photosynthetic system of microalgae [J]. *Space Medicine & Medical Engineering*, 2005, 18(6): 437—441 [王高鸿, 陈兰洲, 胡春香, 等. 空间飞行和辐射对微藻光合系统影响的观察. 航天医学与医学工程, 2005, 18(6): 437—441]
- [37] Li Y G. Studies on the photosynthetic characteristics of some economic *Nostoc* species and their adaptation to habitats [D]. Doctoral dissertation. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2004 [李运广. 几种经济念珠藻类光合特征及生境适应的研究. 博士论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2004]
- [38] Li Y G, Gao K S. Photosynthetic physiology and growth as a function of colony size in the cyanobacterium *Nostoc sphaeroides* [J]. *European Journal of Phycology*, 2004, 39: 9—15
- [39] Ai H X. Ecophysiology studies on the edible cyanobacteria, *Nostoc sphaeroides* [D]. Master dissertation. Shantou University, Shantou.

- 2004 [艾红霞.食用蓝藻葛仙米的生理生态学研究.硕士论文,汕头大学,汕头.2004]
- [40] Tan X R. Brief introduction of *Nostoc sphaeroides* [J]. *Chinese Food and Nutrition*, 1998, (5):45 [谭学儒.葛仙米简介.中国食物与营养, 1998, (5):45]
- [41] Lin G Z. *Nostoc sphaeroides* [J]. *China Food*, 1995, (4):22 [林国正.葛仙米.中国食物, 1995, (4):22]
- [42] Lin G Z. Menu of *Nostoc sphaeroides* [J]. *China Food*, 1995, (6): 18—19 [林国正.葛仙米菜点.中国食品, 1995, (6): 18—19]
- [43] Huang Z B, Liu Y D, Hu C X, et al. Method of separation and purification on water soluble polysaccharides from filamentous blue-green algae (cyanobacteria) and suspension culture. Chinese patent, patent number: 97109350.4 [黄泽波, 刘永定, 胡春香, 等.丝状蓝藻水溶性多糖及胞外多糖的提取分离方法.中国专利, 专利号: 97109350.4]
- [44] Mo K J, Xie B J, Wang X P, et al. Study on extraction, separation and purification of *Nostoc Sphaeroides* Kützling polysaccharide [J]. *Food Science*, 2004, 25(10): 103—108 [莫开菊, 谢笔均, 汪兴平, 等.葛仙米多糖的提取、分离与纯化技术研究.食品科学, 2004, 25(10): 103—108]
- [45] Wang X P, Xie B J, Chen C, et al. Study on *Nostoc sphaeroides* Kützling cell-breakage by freezing and melting [J]. *Food Science*, 2005, 26(3): 162—165 [汪兴平, 谢笔均, 程超, 等.反复冻融法在葛仙米破壁技术上的应用.食品科学, 2005, 26(3): 162—165]
- [46] Chen C, Mo K J, Wang X P, et al. The processing technologies of *Nostoc sphaeroides* drink [J]. *Food Science*, 2003, 24(8): 59—61 [程超, 莫开菊, 汪兴平, 等.葛仙米饮料的研制.食品科学, 2003, 24(8): 59—61]
- [47] Chen C, Mo K J, Wang X P, et al. De-odorizing study on *Nostoc sphaeroides* beverage [J]. *Food Science*, 2004, 25(6): 119—122 [程超, 莫开菊, 汪兴平, 等.葛仙米饮料脱腥技术研究.食品科学, 2004, 25(6): 119—122]
- [48] Chen C, Wang X P, Mo K J, et al. Studies of the color-preserving technology on *Nostoc sphaeroides* Kützling [J]. *Food Science*, 2002, 23(8): 87—90 [程超, 汪兴平, 莫开菊, 等.葛仙米护色技术研究.食品科学, 2002, 23(8): 87—90]
- [49] Wang X P, Pan S T, Chen C. The processing technologies of *Nostoc sphaeroides* soup [J]. *Food Science*, 2003, 24(8): 57—59 [汪兴平, 潘思轶, 程超.葛仙米羹的加工工艺.食品科学, 2003, 24(8): 57—59]
- [50] Liu Y D, Li D H, Song L R, et al. Method of culturing *Nostoc sphaeroides*. Chinese patent, patent number: 99120005.5 [刘永定, 李敦海, 宋立荣, 等.一种葛仙米人工培养的方法.中国专利, 专利号: 99120005.5]
- [51] Chen C, Mo K J, Wang X P. Study of growth and reproduction conditions of *Nostoc sphaeroides* [J]. *Journal of Hubei Institute for Nationalities* (Natural Science Edition). 2003, 21(4): 14—17 [程超, 莫开菊, 汪兴平.葛仙米生长及繁殖条件的探讨.湖北民族学院学报(自然科学版), 2003, 21(4): 14—17]
- [52] Deng Z Y, Hu Z Y. Method of controlling the infectant plant or animal during culturing *Nostoc sphaeroides* and *N. commune*. Chinese patent, patent number: 200310111454.8 [邓中洋, 胡征宇.葛仙米、地木耳培养中污染的控制方法.中国专利, 专利号: 200310111454.8]