

从我国实际出发,大力开发 单细胞蛋白资源

任 玉 岭

(中国科学院微生物研究所·北京)

开发单细胞蛋白资源,发展单细胞蛋白工业,这是开辟人类食物新来源的重要途径之一,是件具有战略意义的大事。单细胞蛋白不仅蛋白质含量丰富,营养效果良好,可以用来解决蛋白质食物和饲料的匮乏,而且因它能够以多种废弃资源为原料,进行物质再循环,所以也是加强环境保护、变废为宝的好途径。

单细胞蛋白产生的背景 及其优越性

单细胞蛋白也叫微生物蛋白,追溯历史,用微生物生产蛋白质的研究,始于六十年前的战争岁月^[1,2]。第一次世界大战中,德国谷物等淀粉质食粮极度不足,为寻求克服粮食危机的对策,在德国皇帝威廉二世的倡导下,提出了开发食粮新资源的设想。结果,食用酵母与小球藻成了人们研究的对象。经过科学家的努力开发,用木材糖化液和亚硫酸纸浆废液培养酵母生产出了营养丰富的微生物蛋白,由酵母压榨而成的微生物蛋白,经加工成形后,颜色与形状同猪肉相似,加之营养可同肉类媲美,所以博得了“人造肉”的雅称。

至六十年代以来,因人口的不断增加,粮食日趋紧张,蛋白质日趋匮乏,此时,用矿物和废弃有机物生产微生物蛋白被作为开发食粮新资源的对策,再次受到重视。1967年,在联合国蛋白质顾问组织赞助下,世界上有关专家在美国麻省理工学院举行第一次国际单细胞蛋白会议^[3,4],并在此会上作出决定,将微生物蛋白易名为单细胞蛋白(Single cell protein)。这不仅统一了原来对微生物蛋白的一物多称,也推动了这方面的学术交流,加速了这一领域的发展。

近十几年来,单细胞蛋白发展迅速,除客观需要外,也与它自身潜在的工业生产食粮的可能性与优越性有很大关系。在解决粮食和蛋白质不足问题上,人们曾经致力于三个方面的工作,一是所谓的绿色革命,通过改进耕作,培育良种等增加粮食产量;二是借助于发展海洋水产和海洋作物,扩大食物来源;三是研究光合成和化学合成,利用二氧化碳和水合成粮食。这第一、二两点,虽是可行之策,但终究要依靠既有的土地和难以被人们控制的自然条件。第三点虽已研究多年,但为期依然甚远,不可寄希望于眼前。

利用微生物生产蛋白质,相比较而言是切实可行的,它的优点有以下四个方面^[5,6]:

1. 原料广泛:能够用来生产单细胞蛋白的原料有矿物资源、纤维资源、废弃资源、糖类资源。矿物资源包括石油^[7]、天然气^[8]以及由石油天然气加工而来的甲醇^[9-12]、乙醇^[13,14]、醋酸等^[15,16],纤维资源包括各种植物秸秆、糠稗、木屑、蔗渣、薯渣等^[17-23]。废弃资源包括各种工、农、林、水等产业的有机废水、废气、废渣以及城市垃圾等^[24-28]。糖类资源,包括木薯粉、甘薯粉、马铃薯粉以及废糖蜜等。此外,蕴藏量丰富的泥炭资源也可作为单细胞蛋白生产的好原料^[30]。

2. 生产速率高:单细胞蛋白是靠微生物的快速繁殖积累的,由于微生物生长速度惊人,所以它的生产效率为动、植物不可比拟。细菌繁殖一代的时间是0.5—2小时,酵母菌是1—3小时,藻类是2—6小时。相反农作物一年至多才能长三季,大牲畜几年才能生出新一代。把微生物同动物合成蛋白质的速度比较一下,前者比后者快千倍、万倍。一头500公斤的公牛每天可产蛋白质0.4公斤,而500公斤酵母每天至少生成5公斤蛋白质。

3. 营养丰富:单细胞蛋白所含蛋白质高,粮食作物中玉米含蛋白质8—9%,小麦含蛋白质10—12%,大豆含蛋白质35—40%,牛肉含蛋白质18—22%,蛋品含有蛋白质13—15%,而由细菌生产的单细胞蛋白其蛋白质含量为40—90%,酵母为40—60%,霉菌20—45%,藻类为40—60%。组成单细胞蛋白的氨基酸种类齐全,并含有丰富的维生素,营养价值较高。在以玉米作为猪饲料时,蛋白质效价(动物增重/蛋白质消耗)只有0.15,而当添加1%酵母时,蛋白质效价增至0.73,添加酵母5%时,增至2.11,相当于提高1300%。

4. 不用或少用土地:单细胞蛋白可以进行工业化生产,不受季节限制。一个年产10万吨级的单细胞蛋白工厂,如以酵母计,按所含蛋白质为45%,一年所产蛋白质为4万5千吨。一亩大豆按亩产200公斤,蛋白质含量按40%,一年所产蛋白质为80公斤。这样一个工厂的年产蛋白量即相当于562500亩土地生产的蛋白质。

国外单细胞蛋白的研究开发概况

单细胞蛋白的研究内容十分广泛。既要依据原料对象选择和培育菌种,还要依据菌种的特征、原料的性质选择工艺。鉴于原料对象千差万别,菌种的选择也就多种多样,所涉及的工艺自然各有千秋。这就构成这个领域中研究工作的多样性和复杂性。尤其要培育生长快、营养高的菌种,建立高效率、低成本的工艺,就需要大力开展微生物学、遗传学、发酵工程学的研究。作为单细胞蛋白的研究,也还必须进行营养学、毒理学方面的试验。这里仅就生产菌种和采用原料的情况作一简介。

酵母是人们所熟悉的,它是最早用于单细胞蛋白的生产菌。酵母不仅用于废糖蜜及木材水解液为原料的生产上,而且也用于石油、甲醇为原料的单细胞蛋白生产中。酵母属酵母(*Saccharomyces*),假丝酵母属(*Candida*),球拟酵母属(*Torulopsis*),汉氏酵母属(*Hansenula*)等都得以广泛应用。酵母的色、香、味易为人们接受,便于加工成维生素、氨基酸类的食物强化剂。在生产工艺上,因酵母个体大、易回收,而且耐酸力强,适于低pH培养,不易污染,给生产带来很大方便。

细菌主要用于甲烷、甲醇、氢和二氧化碳以及垃圾、粪便为原料的单细胞蛋白的研究和生产中。英国帝国化学公司和西德豪斯特公司以甲醇为原料的单细胞蛋白生产都采用甲基单胞菌属(*Methylobomonas*)一类的微生物^[1],生长快速,生产效率高达3.5克/升/小时左右,加之蛋白质含量高,必须氨基酸齐全,受到人们重视,具有发展前景。不利的是细菌个体小,给产品的回收带来困难。近年来采用电凝聚同离心、喷雾相结合的方法收到较好效果,在生产上发挥了作用。

放线菌主要用于纤维质原料的直接发酵中。放线菌中的诺卡氏菌、高温放线菌等,具有分解纤维素、木质素的能力,因而可直接利用纤维原料生产单细胞蛋白,这比利用纤维素酶分解纤维素,再用以培养酵母要经济得多,对于利用各种秸秆、工农业废渣生产单细胞蛋白具有重要意义。纤维素是块“硬骨头”,啃起来比较困难,这方面的研究还处在实验室阶段。但从近来趋势看,随着克隆纤维素酶新菌种的问世攻下纤维素生产单细胞蛋白的难关已为期不远。

霉菌^[2],相比较来说含蛋白质偏低,多在25%左右。霉菌的优点是具有较强的糖化力,例如拟内孢霉(*Endomyces*)可以直接利用淀粉质原料生产单细胞蛋白。此外英国国会已批准用禾赤镰孢菌(*Fusarium graminearum*)制造单细胞蛋白投入生产。含蛋白质高的木腐菌,也被用来生产单细胞蛋白,日本已有几家公司用泥炭原料培养白色木腐菌,制造出营养丰富的蛋白质饲料,推动着畜牧业的发展。

单胞藻类,在单细胞蛋白生产上也具有重要地

位。它可以利用二氧化碳为碳源,以太阳能为能量,合成自身营养,进行生长繁殖。小球藻(*Chlorella*)和螺旋藻(*Spirulina*)分别含有40%与50%的蛋白质,自古以来,就是非洲一些地区居民的蛋白质食品。日本藻类研究所对藻类的人工培养作了很多研究,由该研究所所长中村浩撰写的《未来的食物》一书,重点阐述了藻类的应用前景。美国、印度、法国、西德也开展了以工业方法生产藻类的研究,其中法国石油研究所取得的研究成果,已在墨西哥以年产3百吨的规模建起了小型工厂。螺旋藻在最适条件下,每平方米水面可得14—16克/天的收获量,这比一般利用太阳能的作物产量要高出20—30倍。

作为单细胞蛋白的原料,从六十年代起,至今研究可以利用的不下几十种。研究最多的是石蜡、甲醇和甲烷。六十年代集中于石蜡原料的研究,到七十年代则把重点移到了甲醇上。以石蜡生产的蛋白质——石油蛋白被称为第一代单细胞蛋白,以甲醇为原料生产的甲醇蛋白被称为第二代单细胞蛋白。石油蛋白的理论转化率为153%,实际生产中最高达130%,即一公斤石蜡可生产1.3公斤单细胞蛋白。甲醇蛋白的理论转化率为73%,实际生产达50%。由于单细胞蛋白的生产成本同工厂规模关系极大,一般在5万吨以上的年产量,才可使成本降得较低,作为易集中的原料,认为有甲醇、石蜡和纤维质原料,一般的工农业废物不便集中以供如此大规模的工业生产。

在进入八十年代的今天,单细胞蛋白的研究又出现了新的动向,利用碳水化合物生产单细胞蛋白将重新引起人们的注目,具有大发展的趋势。碳水化合物培养微生物有悠久传统,工艺成熟,原料多样,易于被微生物利用,只要菌种选择适当,产品安全可靠。工农业废水、废渣的利用也将成为今后进一步研究的对象,特别是纤维素的利用,将吸引更多的研究者为之奋斗。世界年产纤维素上亿吨,年年如此,永无枯竭,用碳水化合物生产单细胞蛋白具有永恒的生命。近来不少研究着眼于废水、废渣和垃圾的处理,将单细胞蛋白同环境保护的研究结合在一起,有利于降低单细胞蛋白的售价,也还有把沼气发酵、环境保护、单细胞蛋白三者结合一起进行研究的,这又是别开生面的开发蛋白资源的新途径。

利用淀粉质原料生产单细胞蛋白,近来也引起了人们的注意。虽然用淀粉质原料生产单细胞蛋白存在着同人类争粮的问题,但为了弥补蛋白质饲料的缺乏,将低营养的淀粉物质转化为蛋白仍有其现实意义。

我国单细胞蛋白的研究开发与存在问题

有关研究工作,先后曾开展过酸水解木材,酸水解棉籽壳、酶水解糠醛渣,酶水解蔗渣,酶水解木屑作原

料生产单细胞蛋白的研究。轻工业部发酵工业研究所以酸水解棉籽壳制出的糖液为原料生产酵母,曾完成中间试验。中国科学院微生物所利用纤维素酶水解糠醛渣,用以培养假丝酵母,转化率达50%。四川生物所同资中糖厂合作,用纤维素酶水解蔗渣所得糖液生产酵母,五吨蔗渣产一吨酵母干粉。无论酸水解或酶水解纤维质原料生产酵母,均因成本高而尚无应用价值。

七十年代以来,国际上石油发酵研究热波及国内,以石油为原料生产单细胞蛋白的研究遍及各地,不少工厂、院校及研究单位卷入其中。以石油为原料生产单细胞蛋白,包括用微生物进行原油脱蜡,在脱蜡时生成微生物菌体,这本是一举两得的事情,但因原油中芳香烃、苯并芘等致癌物含量很高,由脱蜡微生物制造的单细胞蛋白,供作饲料缺乏安全性。其次就是以石蜡为原料生产酵母,中国科学院上海有机所坚持近廿年,同很多科研单位协作,取得了成果,石蜡转化率可达90%以上,以连续培养方式,生产效率达2.5克/升/小时,虽然安全性得到了肯定,但成本高仍是阻碍投产的要害问题。我国石油资源固然丰富,而石蜡原料仍很紧张,即使成本降下来,原料也成为投产的限制因素。

以甲烷为原料生产单细胞蛋白,在北京、四川进行过多年研究。中国科学院西南生物所应用天然气培养假单胞菌,生产效率可达1克/升/小时。由于原料,成本和需防爆设备问题用于生产尚很渺茫。

甲醇为原料生产单细胞蛋白的研究在国内始于1977年,迄今已选到一些同化甲醇能力强的酵母和细菌^[9,10]。甲醇作为原料,从发展眼光看不存在供应问题,但甲醇价格昂贵,较难使甲醇为原料的单细胞蛋白通过经济关。

由于单细胞蛋白售价低,而生产所用的工业原料价格高,迄今我国酵母产量仍不过万吨,而且一万吨的产量中,有3000吨是面包酵母,有5500吨是医药用酵母,只有1500吨是供饲料使用,而且主要用来提供出口,同苏联年产110万吨相比,差740倍。同我国每年大约需要1000万吨的饲料蛋白的实际是极不相称的。

关于利用各种废水生产单细胞蛋白,值得一提的是白地霉的研究。1960年在全国范围内开展利用豆腐厂废水、淀粉厂废水、罐头厂废水以及酒精和丙酮丁醇废水培养白地霉,生产“人造肉”,为我们度过三年困难时期作出了贡献。

白地霉生产的单细胞蛋白,含蛋白质达40%以上,维生素丰富,氨基酸齐全。作为饲料能提高猪的食欲,增重效果良好。用于喂鸡可提高产蛋率8—14%。白地霉本身食性广,生长条件粗放,可以不灭菌进行生产,菌体丝状,便于回收,能因陋就简,普

及推广。

我国对单细胞蛋白的开发已走过一段漫长的道路,取得了一些经验,但也有些问题需要很好解决。

1.研究方向方面:近十几年我国单细胞蛋白的研究自发性大于计划性,题目的选择上来自资料的多来自国内实际的。例如石油蛋白的研究,某种程度上是受到国外“石油蛋白热”的影响提出的,从七十年代初起,参与研究的单位和人数之多,在我国发酵科的历史上较为少见。由于研究工作同我国实际脱节,所以上马又下马者为数不少。

还有重研究轻应用的思想在单细胞蛋白研究方面也需要很好解决,个别从事单细胞蛋白研究的单位,包括协作工厂,多想的是出研究成果和论文,对究竟怎样解决实际问题不热心,以致于研究成果鉴定会尚设结束,就已停止生产和散摊了。

2.技术路线方面:单细胞蛋白的研究应当立足于实际,选择便于取得的原料,如甘薯粉、糖蜜、工业废水等作为研究对象,以利于尽快取得经济效益。当然也应该考虑那些在将来能以大量供应的资源,进行探索性的研究。但值得注意的是,应力戒把主要精力放在探索上,防止研究工作只开花,不结果。

单细胞蛋白可作饲料养猪、养鸡也可用来养貂、制药。有些研究过不了经济关,转向后者以防亏本是可以的,但作为单细胞蛋白的研究任务,必须从农牧业需要出发,避免转移方向,影响攻克难关。

3.经济政策方面:单细胞蛋白是同吃穿用直接相关的,有了蛋白质饲料养猪、养鸡就可以大发展,市场的肉、蛋、奶就会增加。因而,单细胞蛋白工业既是农业的补充,又是轻工业的组成部分。在国家十分重视农业和轻工业的今天,应把单细胞蛋白工业提上日程,并需辅以适当的经济措施,加速其向着大规模方向发展,使为经济翻两番的宏伟目标作出贡献。

参 考 文 献

- [1] 中村浩:《未来の食糧》pp. 25—35,同文書院,1976.
- [2] Arimat K.: The problems of Public Acceptance of SCP, International symposium on SCP 1981, in Paris.
- [3] Senez J.: Importance Actuell et Potentielle des Proteines d'Organismes Unicellulaires pp. 1—21, les levures aliment présenté par speichim, 1980
- [4] Nevin S. Serimshaw, *Single Cell Protein*, 24—25, 1978.
- [5] 日本石油発酵研究会编:《石油発酵》,天津工业微生物所译, pp. 65—66, 科学出版社, 1973.
- [6] Revuz B. et ph. Guez: Definition, rôle et place de la levure aliment parmi les protéines d'organismes Unicellulaires, 1—8, les levures aliment présenté par speichim, 1980.

(下转第100页)

- [7] Hamrour, A., Politique de developpement des petroprotein dans les pays membres de l'OPAEP pp. 1—6. International Symposium on SCP 1981. in Paris.
- [8] 赵树杰: 微生物学通报7(5), 224—228, 1980。
- [9] 中国科学院微生物研究所甲醇蛋白组: 甲醇利用菌的研究, 中国微生物学会1979年学术年会论文摘要汇编 p. 19, 160, 1979.
- [10] 林伯荃、汪锦榜: 饲料研究, 1979年第5期, 18—21.
- [11] Goto, S. et al.: *J. Ferment. Technol*, 57(1): 39—46, 1979.
- [12] Yiumiura K., et al.: *J. Ferment. Technol*. 57(2): 124. 1979.
- [13] 居乃晓: 微生物学通报, 6(4): 28—34, 1979.
- [14] Paca J. and V. Gregor: *J. Ferment Technol* 57, 227, 1979.
- [15] 五嶋慎治: 発酵工学雑誌, 54: 213, 1976.
- [16] 上山英夫: 発酵工学雑誌 51: 625—630, 1973.
- [17] Carlos. R. *Single Cell Protein II* p. 273, 1978.
- [18] 薛茂傑, 梁杉垣: 化纤丛刊. 1980年第1期, 10—20.
- [19] Han, Y. W.: *Appl. Microbial*. 23(4): 510—514, 1975.
- [20] Nystrom, J. M. *Process Biochemistry*, 11(10): 26—31, 1976.
- [21] Bellamy. W. D. *Biotech. Bioeng.* 16(7): 869—880, 1974.
- [22] Thayer P. W. et al.: *Development in Industrial Microbiol*, 385—394, 1977.
- [23] S. K. Ghai et al.: *Indian J. of Experimental Biology* 19: 61—64, 1981.
- [24] Sonomoto K. et al.: *J. Ferment. Technol*. 59(6): 471—479, 1981.
- [25] Bernstein. S. et al.: *Single Cell Protein from Renewable and nonrenewable resources* p. 1—9. 1977.
- [26] Sidhu. M. S.: *Biotech. Bioeng.* 22(3): 689—692, 1980.
- [27] Kim J. H. and J. M. Lebeault: *European J. Appl. Microbiol. Biotechnol*, 13: 77—83, 1981.
- [28] 養田泰治: 発酵工学雑誌 56(5): 538—552 1978.
- [29] Ohl K. et al. *J. Ferment. Technol*. 57: 195, 1979.
- [30] Leduy: A. *Process Biochemistry* 14(3): 18—24, 1979.
- [31] Stephanie. Y.: *New Scientist* 89(1245): 723, 1981.