技术开发

用农业废物及造纸废渣直接生成单细胞蛋白的滑铁卢大学法

喻　尚　威
（江西省专利服务中心）

从六十年代初开始，国际科技界与工业界为寻找生产单细胞蛋白经济有效的工业方式，进行了大量的试验研究．近二、三年来，在用纤维素物料生产单细胞蛋白方面取得了较大的突破，进入开发中试阶段．

加拿大滑铁卢大学化学工程系教授慕容默利（Murray Moo-Young）等人，多年从事以纤维素原料生产单细胞蛋白的技术研究．他们提出了一种用农业废物及造纸废渣直接培养微生物生成单细胞蛋白的方法．这是除利用纤维素发酵制取燃料酒精、厌氧发酵产生沼气以外，又找到的一条较经济的综合利用纤维素资源的新途径，而且，近于全部利用作物秸秆及人畜粪便，使农业形成一个闭合式的有机循环体系，既处理了废物、又提供了吸引人的方法．

近几年来，慕容教授已将滑铁卢大学法的小试与中试研究成果陆续公诸于世．该法的小试装置曾在加拿大制浆造纸协会（CPPA）技术分会的一次年会上展示[1]．1981年第3次国际单细胞蛋白学术讨论会上，慕容教授发表了题为《滑铁卢单细胞蛋白方法：将纤维素原料直接转化为蛋白质食物》的学术论文[2]．并先后在英国、日本、巴西、捷克斯洛伐克、加拿大、匈牙利、法国、葡萄牙及美国等国获得专利权[3-11]．

滑铁卢大学法采用的微生物，被命名为解纤毛壳菌（Chaetomium Cellulolyticum）[12,13]．这种微生物是在印度旁遮普邦农村的堆肥中发现的．这是一种罕见的耐热真菌，这种活性有机体以稻草、麦秸为营养源，能够直接降解木质素．在以纯纤维作唯一碳源培养时，与国内外通常采用的预先酶解法中的绿色木霉相比，解纤毛壳菌的生长速度高50—100%，最终生成的微生物蛋白质多达80%以上．

慕容教授指出，解纤毛壳菌比较适用于生产单细胞蛋白，而且其固体发酵水平可接近纤维浆发酵．

加拿大伊弗康公司（Envirocon Co.）用150万美元的投资，在温哥华建立试验工厂采用滑铁卢大学法进行日产两吨单细胞蛋白的中间试验[14]．它以当地农作物秸秆及制浆造纸废渣作原料生产蛋白饲料．具有工艺过程简单、原料价廉易得、厂房设备简易等特点．用甲醇作原料生产单细胞蛋白葡乳丁（Pruteen）的英国ICI公司已经感到难以与这个价廉的竞争新手抗衡；拥有世界最大纸浆工厂的美国ITT公司，以纸浆废液为原料采用混合细菌发酵生产的单细胞蛋白雷普诺（Raypro）已压价为150美元1 t，不得不决定引进滑铁卢大学开发的新技术．

简易滑铁卢大学法的工艺流程见下页图．

该工艺包括以下几个主要工序：

一、将富含纤维素的农产废物进行加热预处理，使纤维素物料受热膨胀．利用人畜粪肥厌氧发酵产生的沼气，作为加热源．用

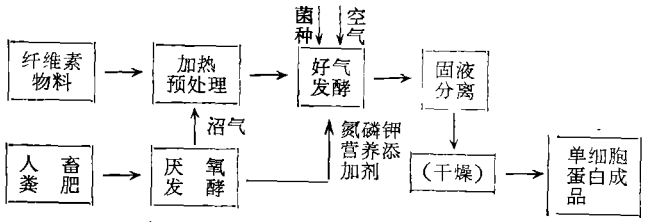

图 1　简易滑铁卢大学法的工艺流程

表 1　厌氧发酵的典型条件与性能

基　质	牛　粪
单位容积中基质重量比	8%
温　度	39℃
pH　值	7—8(无控制)
滞留时间	12d (半连续)
产气量	1.21/单位介质/d
气体成分	甲烷65%、二氧化碳35%

牛粪厌氧发酵的典型条件与性能见表 1.

二、经过预处理的物料作为发酵主碳源，并补充一部分沼气发酵废渣，作为氮磷钾营养添加剂，接种解纤毛壳菌种进行好气发酵.

好气发酵典型条件与性能：基质为玉米秆；单位容积中基质重量比为 2%；温度为 37℃；pH 值为 5.5 (受控制)真菌比生长速度为 0.24 h^{-1} (连续).

三、从发酵液中分离出悬浮体，即单细胞产品.

四、如果产品需要贮存或外运，再增加一道干燥工序，制成单细胞蛋白干品. 以稻草为原料制成的单细胞蛋白干品典型特性如下：颜色为灰色；外观为晶粒状；气味类似蘑菇或麦芽；含水量为 8%；可消化性为 73% 无氮抽提物 (NFE) (大鼠)；生物量含量*为 73% 干粗制品 (DM)；纤维素含量为 4% 干粗制品 (DM)；木质素含量为 12% 干粗制品 (DM)；灰份含量为 12% 干粗制品 (DM). 表 2 列出了滑铁卢单细胞蛋白的氨基酸组份及与其它蛋白质产品的对照.

滑铁卢大学法单细胞蛋白产品，无论从安全性、可消化性，还是从营养价值评价，作为畜禽饲料都是令人满意的，而且其干燥成品的物理性能也符合商品化要求.

表 2　滑铁卢单细胞蛋白与其它蛋白质产品基本氨基酸组份比较(%)

氨基酸	FAO* (参考标准)	滑铁卢单细胞蛋白	豆粉	饲料酵母
异亮氨酸	4.2	4.7	4.2	5.3
亮氨酸	4.8	7.5	7.7	7.0
赖氨酸	4.2	6.8	6.4	6.7
蛋氨酸＋胱氨酸	4.2	2.6	2.2	1.9
苯基丙氨酸	2.8	3.8	4.7	4.3
苏氨酸	2.6	6.1	3.6	5.5
色氨酸	1.4	N.A.	1.7	1.2
酪氨酸	2.8	3.3	2.7	3.3
缬氨酸	4.2	5.8	4.4	6.3

* FAO 指联合国粮农组织.

整个工艺流程的排放物，基本上是二氧化碳和符合生化耗氧量 (BOD) 标准的游离水. 表明该法既利用了农产废物及造纸废渣，又无二次污染，有益于环境保护.

简易滑铁卢大学法的工艺条件要求低，例如仅需要橡胶衬里发酵罐等普通设备、低温、低压，而原料是农产废弃物，可以就地取材，甚至产品也可以就近喂养畜禽，不必干燥，不用包装，不需长途运输，因而，它的生产成本可以降到最低.

采用计算机模拟程序，对滑铁卢大学法用于工业方式生产，从经济评价角度进行了可行性分析，预测出最经济的生产规模[15].

在加拿大安大略省，一个拥有 1.21406×10^6 m^2 (折合我国 1820 亩) 土地的典型粮食作物农场，作物秸秆年平均累积量约 180t. 只要三个这样规模的农场联合经营一家采用简易滑铁卢大学法工艺流程的生物转化工厂，

* 蛋白质含量 45%左右。

年处理540 t作物秸秆，生产供当地喂养畜禽用的单细胞蛋白，就可以有盈利．这是以1979年4月加拿大啤酒酵母（对照物）的售价和稻草、麦秸的成本为基准进行分析的．工厂分期偿付投资期限保守地定为10年．即返本期为10年．

对于采用新式硫酸盐法的制浆造纸工厂来说，只要日排出废渣10 t（干重）以上，除预热器、发酵罐、分离器以外，再添加蒸气发生器（用于废渣灭菌）、灭菌罐、致冷塔、空气压缩机、空气过滤器、鼓形干燥器及泵等设备，利用滑铁卢大学法进行生物处理生产单细胞蛋白，也是有利可图的．据估算，一座日处理10 t造纸废渣的单细胞蛋白工厂，其固定设备费用总计为189500加元（1979年牌价），约折合人民币30万元．固定资本投资（FCI）与固定设备费用（CEC）的比值，取3.0±0.5比较切合工艺水平，因此，该工厂的固定资本投资约为人民币90至100万元．

敏感度分析表明，单细胞蛋白产品的销售价格以及农场废弃物累积量或纸厂废渣日排出量，是影响滑铁卢大学法经济性的两个最重要的因素．当贴现现金流通回收率（DCFR）为25%时，产品销售价与大豆大致相等．加拿大大豆价格1 t大约为300加元，折合人民币475元左右．

对滑铁卢大学法作些改进，例如在发酵介质中加入聚合物添加剂、采用管式发酵罐、混合培养方式以及改液体为半固态体系等，都可以提高单细胞蛋白产量．这几项改进技术，滑铁卢大学都已取得专利权．

滑铁卢大学技术开发中心表示可以出售该新技术的专利许可证和有关设备．30多个国家的500余家公司对此很感兴趣，法国、南斯拉夫等国已先后签署专利许可证贸易协定．法国Innotech公司全部用农产废物为原料进行生产．滑铁卢大学法在欧洲共同体诸国、日本以及第三世界国家可望受到垂青．

最后，要说明一点，滑铁卢大学单细胞蛋白完全符合联合国粮农组织有关人类食品的氨基酸组份要求，它的核酸含量较低，而含硫的蛋氨酸与胱氨酸含量较高，不仅蛋白质，而且其它一系列营养成份都接近于食用肉．如果从结构入手，探索适合人类饮食习惯的形式与风味，就可以把农产废物及造纸废渣富含的纤维素变成供人类食用的单细胞蛋白食物．

参 考 文 献

[1] Pulp and Paper Canada, **83**(5), p. 38, 43 (1982).
[2] Colloq. Int. Proteines Org. Unicell. [Conf. Gen] pp. 339—341, 1981. (Pub 1983).
[3] Patent GB 2041—403.
[4] Pateut J8 4053—014.
[5] Patent BR 8000—274.
[6] Patent CS 8000—605.
[7] Patent CA 1129—709.
[8] Patent FR 2501—011.
[9] Patent PT 74—432.
[10] Patent US 4401—680.
[11] Patent HU T029—254.
[12] Mycologia, **68**, pp600—610 (1976).
[13] Mycologia, **73**, pp755—773 (1981).
[14] New Scientist, **96**(1330), p298 (1982).
[15] Pulp and Paper Canada, **81**(6), pp125—129 (1980).