

食糧資源과 微生物

梁 熙 天

〈全北大 教授〉

1. 食糧資源과 微生物과의 關係

微生物은 食糧資源과 무슨 關係가 있는가 하던, 有利한 面과 不利한 面으로 두가지 面에서 살펴볼 수가 있는데, 不利한 面을 보면 *Pyricularia Oryzae* CAVARA처럼 벼에 번식해서 稻熱病을 일으켜 米穀의 生産性を 低下시키는 것이랄지, 또는 *Penicillium islandicum*같은 곰팡이가 쌀에 번식하면 黃變米가 되는 것이랄지, 또 어떤 食品에 곰팡이가 번식해서 毒素(예를들면 Aflatoxin)를 生成하는 例를 볼 수 있다. 그러나 本稿에서는 주로 有利한 面에 대해서 살펴보고자 한다.

食糧資源과 微生物과의 有利한 關係에 있어서도 두가지 面에서 살펴볼 수가 있는데, 한가지는 우리가 傳統的으로 利用하여온 食糧資源을 더욱 有效하게 利用하는데 微生物이 도움을 주는 것으로 人間의 嗜好를 자극하는 여러가지 釀造物을 위해서 여러 方面의 加工食品과 必須的인 關係가 있는데, 이때에는 主

로 微生物이 分泌하는 酵素作用이 利用되게 된다. 또 한가지는 人類가 傳統的으로 食糧資源으로 利用한 것은 아니지만 새로운 未來食品으로 脚光을 받고있는 것으로 直接食糧資源의 增産에 이바지하는 面인데 이 경우는 微生物菌體 그 自體가 食糧資源이 되는 것이다. 微生物菌體의 蛋白質은 그 아미노산 組成이 優秀하다는 것이 特徵인데 植物性 蛋白質보다는 오히려 動物性 蛋白質과 비슷하여 營養學的으로 훌륭하다. 그리고 또 하나의 特徵으로는 高等植物이나 動物에 比해서 그 生育速度가 대단히 빠르다는 것이다. *Saccharomyces*屬의 어떤 酵母는 그 生産速度가 아주 느린 편인데도 generation time이 2시간 정도이다. 다시 말하면 2時間 마다 菌體數가 2倍로 된다. 또 한가지 特徵으로는 各種의 炭素源을 廣範圍하게 利用할 수 있다는 點이다. 糖, 澱粉은 물론 炭化水素인 n-paraffine, alcohol, Acetic acid도 利用할 수 있을뿐 아니라 Autotrophic Bacteria인 경우는 CO₂도 利用한다. 또한 水素細菌같은 것은 H₂도 資化할 수 있다. 그러므로 微生物을 잘 增殖시켜서 그 菌

體를 適當하게 調理加工하면 훌륭한 食品으로 利用할 수 있을 것이며, 또한 動物飼料로 使用하면 間接食糧資源이 되는 것이다.

한때 日本에서 SCP(Single-cell protein)을 '石油蛋白'이라고 번역해서 그 名稱上에서 오는 不安感때문에 食糧化하는데 問題가 있었는데, 이것은 petrochemicals를 資化하여 蛋白質을 보충한다는 意味로 그렇게 불렀겠지만, 사실은 單細胞蛋白質이나 微生物蛋白質을 뜻하기 때문에 지금은 이런 이름으로 많이 適用되는것 같다. SCP生産에서는 반드시 炭素源으로 petrochemicals만 使用하는 것이 아니고 펄프廢液을 使用하기도 하는데 이때에 酵母를 增殖시킨다면 Saccharomyces屬을 쓰지 않고 Candida屬을 써야한다. 왜냐하면 펄프廢液中에는 pentose가 많이 含有되어 있는데 Saccharomyces는 이것을 資化하지 못하기 때문이다. 특히 펄프를 만들때 針葉樹를 使用하지 않고 廣葉樹를 使用할 경우에는 廣葉樹의 炭水化物的 70% 以上은 pentosan에서 由來되는 pentose, 특히 Xylose이기 때문에 pentose를 資化하는 candida屬을 使用할 수 밖에 없다.

그리고 炭素源으로서 炭化水素나 petrochemicals를 使用할 때에도 Saccharomyces屬은 增殖하지 못하기 때문에 어쩔 수 없이 Candida屬을 쓰지 않을 수 없다. 여기에서 問題가 되는 것은 從來 우리나라 釀造物이나 빵류를 만들때 利用되던 Saccharomyces屬 같으면 人類가 오랜동안 먹어왔고 親近하기도 하기때문에 安全性을 의심할 필요가 없겠지만 Candida屬 酵母는 食糧과의 관련성 面에서 生소할뿐 아니라 이 屬中の 어떤것, 例를들면 Candida albicans나 Candida tropicalis등은 病原性이 있기 때문에 一般的으로 Candida屬의 酵母는 有毒하다는 誤解가 생기기도 한다.

2. SCP의 安全性問題

1977年 3월에 이태리의 미라노에서 PAG (Protein Advisory Group of United Nations System)에서 주최하는 第7回 SCP國際심포지움이 열렸다. PAG는 國際聯合蛋白質諮問委員會로서 食飼料蛋白質에 대한 모든 問題를 取扱하고 있는 기관인데, 이 심포지움에서 從來食糧資源으로 使用하여온 動植物에 依한 蛋白源만으로서는 將來의 世界的 蛋白不足現狀을 招來할 것을 豫測하고 어쩔수없이 第3의 生物(微生物)에 依存할 수밖에 없다는 結論을 내렸다. 이 심포지움에서 論議된 것 몇가지를 紹介하므로써 SCP에 대한 誤解를 正하는데 참고가 되었으면 한다.

먼저 SCP의 病原性에 대한 問題를 살펴보면 현재 유유럽에서는 이미 3가지 SCP製品이 나와있는데 Candida lipolitica를 n-paraffine으로 增殖시킨 것과 methanol을 methylotrophilus methylotrophis를 資化시킨 것, 그리고 Candida maltosa를 利用하여 n-paraffine에서 增殖시킨 것이다. 이들은 이미 商品化되어 있고 따라서 철저하게 病原性에 대한 研究가 完了되었다. 여러가지 動物實驗 특히 mouse에 cortisone처리를 해서 免疫性을 低下시킨 뒤에 靜脈注射하는등의 實驗에서도 아무런 問題가 없었다는 結果를 確認한바 있다. 即 Candida屬 酵母가 모두 病原性을 가진것이 아니고 Candida albicans와 Candida tropicalis만이 病原性을 나타내고 나머지 수십種類의 酵母에 대한 實驗에서는 아무런 問題가 없다는 結論이다.

다음은 發癌性的 問題인데 특별히 發癌性만을 實驗하기 위해서 動物實驗할 때에는 아웃부렛드 CDI, 인부렛드 C3HHE라는 mouse가

쓰이고, 發癌性和 一般 다른 毒性과의 複合效果를 調査할 때에는 CBA mouse, CBrat를 使用한다. 그리고 이미 發癌性이 確認되어 있는 7,12-dimethylbenzanthracene이나 또는 3-methyltranslene으로 처리한 CB rat 를 使用해서 5개월간 飼育한 結果를 보더라도 아무런 問題가 없었다는 結論이 나왔으므로 發癌性에 대한 염려는 없다는 것이 證明되었다.

또하나 생각되는 것이 催奇性문제인데 日本에서의 實驗例에서 rat가 언청이가 된 적이 있어 이것이 SCP를 먹인 때문이라고 생각했지만 그후 日本農林省에서 한 追試에서 이것이 SCP때문이 아니라 攝取한 칼슘분의 不均衡때문인 것으로 밝혀졌다. 다시말하면 칼슘과 磷의 攝取量을 알맞게 調節하면 쥐의 催奇성은 전혀 생기지 않는다. 또한 微生物菌體의 아미노酸中에는 一般的으로 lysine이 多量 含有하는데 이것과 Arginine과의 均衡問題도 중요하다. lysine과 Arginine이 不均衡일 경우에도 奇形이 생길 수가 있는데 이들 사이에 適切하게 均衡이 잡힌다면 역시 催奇性 문제는 解消된다. 그러므로 SCP의 催奇性에 대한 염려는 營養學的인 理解가 不足하기 때문에 생기는 것이라 할 수 있다.

또한 생각해 볼 수 있는 것이 奇數脂肪酸 문제인데 SCP中에는 다른 食品과 달리 奇數脂肪酸이 상당량 含有되어 있다. 그러나 이 奇數脂肪酸은 動物實驗結果 飼育動物의 脂質을 構成하는데 混入되어서 아무런 지장없이 偶數脂肪酸과 똑같은 速度로 代謝·利用된다. 예를들어 肝臟의 미토콘드리아에 대한 研究에서 보면 偶數脂肪酸과 奇數脂肪酸이 모두 같은 速度로 酸化되어 가는것을 確認할 수 있다. 이런 면에서 볼 때 奇數脂肪酸은 문제가 되지 않으나 脂肪酸의 種類에 따라 그 量的인 문제는 考慮해야 한다. 가령 heptadecanoic

acid를 多量주면 rat의 肝臟에서 미토콘드리아에 의한 Palmitic acid의 酸化作用이 어느 정도 감소되는 例가 있다. 그러나 量的으로 적을 경우에는 奇數脂肪酸을 섭취했다고 해서 크게 걱정할 것이 못된다.

그 밖에도 安全性문제에 있어서 SCP에 殘留될지도 모르는 炭化水素에 대해서도 생각해볼 수 있는데 殘留된 炭化水素가 人體에 많이 섭취되는 것은 좋지못하다. 傳統的으로 食用하는 天然物에도 炭化水素는 含有되어 있는데, 發酵乳, 魚粉, 牧草, 그리고 도마도푸레 등에도 tetradecane이나 octadecane등이 存在한다. 그리고 $C_{20} \sim C_{30}$ 의 소위 higher normal paraffine도 상당량 含有하고 있다는 것이 알려져 있다. 칠면조 脂肪中에는 70ppm정도, 소의 脂肪 分析結果에서도 200ppm정도, 그리고 市販 Lard 中에도 20ppm정도의 n-paraffine이 含有한 것도 報告되었다. 炭素鎖의 길이가 다른 여러가지 n-paraffine의 量을 달리하여 動物體에 의한 吸收나 蓄積에 대한 實驗結果를 보면, 一般的으로 n-paraffine의 量이 增加되면 吸收量이 적어진다. 물론 動物의 종류에 따라서도 n-paraffine의 資化能力에 差가 있다. 예를들면 쥐는 n-paraffine을 淸천히 代謝하여 종류에 따라서는 energy源으로 利用할 수 있는데 給與한 n-paraffine의 約 65%를 CO_2 로 放出한다는 데이터도 얻어지고 있다. 그리고 脂肪組織中에 蓄積되는 n-paraffine의 量은 아주 적은 일부분(約 0.0012~3%)이라고 한다. 보통 SCP의 n-paraffine을 動物에게 주면 γ -Oxidation에 의해서 그것에 相應하는 脂肪酸으로 된다. 卽 正常的인 代謝經路를 통해서 酸化된다. 酸化된 뒤에는 triglyceride, 磷脂質, 그리고 콜레스테롤등으로 變化된다. 따라서 SCP에 아주 微量으로 들어있는 n-paraffine은 天然食品中에도 들어있는 것이고

代謝面에서도 큰害가 없기 때문에 그 程度의 含量이라면 전혀 문제가 없는 것으로 結論지어 졌다. 그러나 계속 문제점으로 남은 것은 Allergy문제이다. 위에서 이야기한 것은 주로 動物飼料로서의 SCP의 有効性を 말한 것이고, 이것을 人間이 直接食用하였을 때는 그 安全性을 檢査할 수 있는 animal model이 確立되어 있지 않다는 점이 매우 곤란한 문제이다. 왜냐하면 動物實驗만 가지고는 人間에게 Allergy현상을 나타내는지 않는지 모르기 때문이다. 아무래도 人間에게 직접 皮下注射를 한다든지 먹여 본다든지 하는 人體實驗을 거치지 않고서는 明確한 結論을 내릴 수 없다. MIT의 D.r. scrim-Shaw에 의하면 人間에게 SCP를 직접 먹이면 被檢者의 16~17%가 分명한 Allerg. 現狀을 나타냈다고 한다. 또한 n-alkane 資化性인 *Candida tropicalis*를 배양하여 그 菌體로 부터 RNA를 數十% 除去한 菌體를 試料로 使用해도 56例中 7例정도가 Allergy증상을 보였다. 그러나 그 후에 행한 實驗에서는 試料를 酸으로 洗滌하면 上記의 문제를 輕減시킬 수 있다는 것을 알았다. 이 Allergen은 分子量이 대강 55,000정도의 蛋白質 fraction에 含有되어 있는것 같다. 現在까지의 經驗적 지식에 의하면 130°C에서 抽出하거나 또는 RNA安全除去에 의해서 Allergen이 消失된다. 이런 처리를 한 製品의 경우는 하루에 35g을 給與하여도 51사람의 실험대상자중 한사람도 Allergy現狀을 나타내지 않았다. 이와 같이 Allergy문제가 해결되게 되면 머지않아 人間이 SCP를 직접 食用하는 時代가 올 것이다. 그리고 그동안 많이 擧論되던 核酸문제는 이미 해결되었다. 核酸은 하루 2g 정도 섭취하는 것은 그리 위험한 일이 아니고 그 이상 섭취하였을때 痛風に 걸릴 염려가 있는데 核酸을 食鹽水를 利用해서 간단히 除去할

수 있는 方法이 알려져 있다.

3. 微生物의 効用性

微生物의 힘을빌어 非食糧資源을 食糧資源으로 轉換시키는 문제는 아주 흥미있는 것으로 우선 Cellulose의 食糧化를 생각해볼 수 있다. 太陽 energy의 0.1%가 地球上의 綠色植物속으로 들어간다는 것은 잘 알려져 있는 사실이다. 이 結果 生育되는 植物은 約 1,500억 톤 내지 2,000억 톤 이라는 막대한 량이다. 이 중에서 約 반절이 Cellulose이기 때문에 이 量은 거의 무진장한 것이라고 볼수있다. 잘아는 바 와같이 Cellulose는 그대로 食用할 수가 없다. 만일 이것을 食用化할 수 있다면 食糧문제를 해결하는데 그이상 多幸한 일이 없을 것이다. Cellulose는 石油나 石炭같은 化石化合物처럼 한번 使用하면 枯渴되어 버리는 것이 아니라 再生産이 可能한 資源이다. 비록 시간은 오래 걸리지만 山野에 심어놓으면 20~30년이면 다시 原狀으로 무성하게 자라나는 便利한 資源이다.

人體는 cellulose를 energy源으로 利用하지 못하지만 微生物은 cellulose를 분해하는 cellulase라는 酵素를 만든다. 이 酵素를 利用하여 Cellulose를 포도당이나 有機酸으로 變化시킬수 있다는 사실이 食糧資源의 將來에 밝은 展望을 보여주고 있다. 지금도 미국의 어느 石油會社에서는 앞으로 20~30년이면 技術적으로 採掘可能한 石油資源이 枯渴될 것이라는 생각으로 Cellulose에 集中的으로 눈을 돌리고 있다는 소식도 있다. Cellulose뿐만 아니라 炭化水素도 이런目的으로 利用되고 있는데, 炭化水素는 SCP의 原料가 될뿐만 아니라 現在 이태리에는 n-paraffine으로부터 Citric acid를 生産하는 3만톤 規模의 plant가 가동

되고 있다. 이와같이 앞으로의 世界食糧 事情은 微生物의 힘을 빌려 非食糧資源을 食糧化하지 않을수없는 狀態에 놓여있다. 微生物 中에는 autotrophic bacteria, 水素細菌처럼 직접 無機營養物을 利用하는 것도 있으며, 거기까지는 못미칠 지라도 methanol, ethanol, 식초산등을 炭素源으로 利用하여 有用한 有機化合物을 生産하는 것도 여러 種類 있다.

다음으로 생각해 볼수 있는것은 土壤微生物 分野인데, 소위 窒素固定菌을 利用하여 生産性を 向上시키는 문제이다. 여기에는 Azotobacter나 共生菌으로서 有名한 Rhizobium이 있는데, Azotobacter에 의한 窒素固定量은 아주 厯大한 것으로 알려지고 있고, 소련에서는 Azotobacter의 乾燥菌體를 밭에 뿌려주므로써 生産性を 높이는데 實用化하고 있다는 報告도 있다.

다음으로는 害虫防除에 微生物을 直接利用하는 문제인데 最近에는 昆虫病理學이 매우 발달되어 있어 California大學의 Steinhaus교수는 그의 저서 “The Principle of Insect Pathology”에서 어떤 昆虫이 어떤 微生物에 의해서 制御되는가를 자세히 설명하고 있다. 그러므로 目的하는 菌을 培養해서 뿌려주면 害虫을 驅除할 수가 있다. 실제로 Ohio주에서 극성을부린 Japanese beetle에 대해서 Bacillus popilliae를 培養하여 撒布해 주므로써 完全히 驅除해 준 例가 있으므로, 이런 면에서도 農業 生産性向上에 크게 도움이 될 것이다.

또 한가지는 抗生物質에 의한 農業生産性의 向上문제인데 抗生物質은 微生物에 의해서 만들어지기 때문에 이런 면에서도 微生物이 食糧資源과 깊은 關聯性이 있다는 것을 알 수가 있다. 抗生物質은 微生物의 antagonism의 原因物質中의 한가지인데, 例를들면 페니실린은 Penicillium chrysogenum이란 곰팡이가

生産하는 抗生物質로서 여러가지 細菌을 죽인다. 最近에는 微生物間에만 국한시키지 않고 보다 廣義로 해석하여 微生物이 만든 이런 作用을 나타내는 것이면 高等植物이나 高等動物에 作用하는 것도 모두 抗生物質이라고 定義하게 되었다. 最近에 실제로 農藥으로 商品化된 抗生物質도 있으며, 除草除로써 抗生物質을 使用하는 試圖도 實用化단계에 있다. 그리고 抗生物質이 動物의 growth factor로서도 쓰이고 있어 動物蛋白質의 增收에도 한몫을 차지하고 있기도 하다.

4. 微生物과 食糧資源의 價値 向上

지금까지 食糧의 增産에 微生物이 얼마나 중요한 역할을 하는지에 대하여 이야기 하였다. 다음에는 食糧의 效率의 利用에 微生物이 어떤 關係를 가지고 있는가에 대하여 알아보 고저 한다.

처음에도 약간 언급하였지만 아무래도 重要한 것은 釀造食品이다. 微生物處理를 하면 食品이 보다 맛있게 되고, 貯藏性이 좋아지고, 소화되기 쉽게 된다는 사실은 간장, 된장, 주류등을 생각해 보면 쉽게 이해할 수 있다. 여기에는 麴菌, 乳酸菌, 各種 酵母등의 微生物이 分泌하는 여러가지 酵素들이 食品成分에 作用하여 多樣한 高分子의 化合物을 보다 간단한 化合物로 分解시키고, 香味成分을 만들어 내게 되므로 呈味성과 消化性이 좋아지고 따라서 嗜好性도 커지게 된다.

다음으로 微生物 加工食品을 들어 보면 植物性 食品으로는 여러가지 김치류와 청국장등이 있고, 動物性 食品으로서는 젓갈류, 치즈, 醱酵乳등이 있는데 이것들도 마찬가지로 맛이나 消化性이나 貯藏性이 向上되게 된다.

一般的으로 近代化된 國家에서의 所謂 食品連鎖(Food chain)는 植物→動物→人間이라는 패턴을 취하고 있는데 食糧資源의 絕對量不足과 함께 개발도상국가에서도 자꾸 所謂 工業化된 先進國의 食事패턴으로 移動되어가는 문제도 世界食糧需給 事情을 어렵게하는 原因中の 하나이다. 그러므로 植物性 食糧資源에 微生物處理를 함으로써 이 chain을 끊고 直接 植物을 맛있게 食用할 수가 있다면 食糧資源이 아주 有用하게 利用되는 셈이 된다. 우리 民族은 古來로 蛋白源은 콩에 依存하여 왔는데, 最近에는 需要量의 90%以上을 輸入에 의존하고 있다. 그런데 이렇게 重要한 콩을 先進工業國에서 처럼 飼料로 利用한다면 너무 아까운 생각이 든다. 여기에서 소위 '蛋白質變換效率'이라는 문제가 생기게 되는데 예를들어 牛肉蛋白質 1kg을 生産하려면 約 10kg의 飼料蛋白質이 必要하기 때문에 이것은 結果적으로 蛋白質의 增産이 아니라 減産이 되는 셈이다. 물론 쇠고기처럼 맛있는 것이 만들어지기는 어렵겠지만 적당한 微生物處理로써 최대한의 맛과 營養을 보장할 수 있는 방법이 얼마든지 있다.

이런 意味에서도 微生物에 依한 食品加工은 重要한 것이다.

또다시 생각해볼 문제는 微生物을 利用해서 食糧資源의 附加價値를 높여주는 것이다. 예를들면 우리나라에서도 이미 工業化되어 製品이 生産되고 있는데, 澱粉을 가지고 포도당을 만드는 것이다. 포도당의 異性化 酵素에 의해서 果糖으로 轉換시킬 수도 있다. 또 澱粉으로 maltose를 만들 수 있고, Pectinase나 Naringinase 또는 hesperidinase같은 酵素를 利用하여 製品의 混濁防止나 쓴맛을 除去하므로써 실제로 食品工業에 큰 寄與를 하고 있다 그 밖에도 Aspergillus Saitoi라는 微生物이

分泌하는 酸性 Proteinase를 利用해서 大豆의 비린내를 除去할 수도 있다. 또는 蛋白分解의 逆反應을 應用해서 threonine, lysine, tryptophan같은 必須 아미노酸을 Peptide結合으로 蛋白質에 끼어 넣으므로써 蛋白質의 營養價値를 自由로 改善할 수도 있을만큼 研究가 進行되고 있다.

以上 몇가지 면에서 食糧과 微生物과의 關係를 살펴 보았는데, 微生物은 食糧의 增産確保와 그 效率性 向上에 크게 寄與하고 있는 肯定的인 면이 있는 反面, 食糧의 變敗 毒性 賦與등 否定的인 면도 있기 때문에 모든 食品關係者들은 微生物에 대한 철저한 지식과 有用한 應用, 管理로써 人類의 食糧確保와 福祉 向上에 이바지 할 수 있는 努力을 계속해야 할 것이다.

보리혼식
건강가족