

# 纖維素微生物学

下 册

A. A. 依姆歇涅茨基著

科 学 出 版 社

# 纖維素微生物学

(下 册)

A. И. 奥巴林 主 编

A. A. 依姆歌涅茨基 著

馬麟祥 王家玲 赵文洪 陈 慎 叶維青 译

王祖农 校

科 学 出 版 社

1 9 5 8

A. A. Имшенецкий  
МИКРОБИОЛОГИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Изд. АН СССР, Москва, 1953

內 容 提 要

这是一部关于纖維素微生物学的总结性的著作。作者曾在许多年中进行了需氧(好气)性和嫌氧性纖維素細菌的研究。这部著作不仅包括了作者本人已经发表的和未发表过的有关研究成果,而且也全面地列举了世界各国学者有关纖維素微生物学的研究材料。全书共引証文献 550 篇以上。这部著作主要是叙述分解纖維素的細菌和放綫菌,而没有涉及到分解纖維素的真菌。本书共分为需氧性纖維素細菌(其中包括放綫菌),嫌氧性纖維素細菌,纖維素細菌的分布,纖維素細菌和其他有机体的共生关系,人和动物腸道中的纖維素細菌,分解纖維素的微生物在实践中的意义等六大部分,詳尽地叙述了纖維素細菌的形态学、分类学、生理学、研究方法及其分布。全书約有 40 多万字。中譯本分上下两册出版,上册包括需氧性纖維素細菌和嫌氧性纖維素細菌两大部分,其下册包括纖維素細菌的分布,纖維素細菌和其他有机体的关系,人和动物腸道中的纖維素細菌,分解纖維素的微生物在实验室中的意义等部分。

纖維素微生物学

(苏) A. И. 奥巴林 主編

(苏) A. A. 依姆歇涅茨基著

馬麟祥 陈 慎 叶維青等譯

王 祖 农 校

科学出版社出版(北京朝陽門大街117号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第061号

中国科学院印刷厂印刷 新华書店总經售

1953年8月第一版 書号: 1295 印张: 9 2/3

1953年8月第一次印刷 开本: 787×1092 1/16

(京) 0001—1,883 字数: 182,000

定价: (10) 1.40元

## 目 录(下册)

三. 纖維素細菌的分布 .....	268
1. 地理分布 .....	268
2. 纖維素細菌的計数 .....	269
(一) 土壤 .....	273
1. 土壤中纖維素分解作用的意义 .....	273
2. 决定土壤中纖維素細菌数量的因素 .....	274
3. 各种土壤中纖維素細菌的数量 .....	280
4. 土壤細菌之种的組成 .....	282
5. 纖維素細菌是土壤熟化程度的指标 .....	283
(二) 淡水池与盐水池水 .....	284
1. 总論 .....	284
2. 湖泊 .....	286
3. 海洋 .....	286
4. 纖維素細菌种的組成 .....	287
5. 喜盐菌种类型 .....	289
(三) 水池底土 .....	290
1. 底土的組成及其纖維素含量 .....	290
2. 底土中纖維素細菌的数量 .....	290
3. 纖維素細菌的垂直分布 .....	292
4. 底土中纖維素細菌之組成 .....	293
5. 水利工程建筑物中的附生生物 .....	293
6. 小火山泥 .....	294
7. 厩肥与泥炭 .....	295
四. 纖維素細菌和其他有机体的共生 .....	299
(一) 纖維素發酵是共生过程 .....	299
1. 伴生微生物有利影响的机制 .....	300
2. 伴生微生物对纖維素發酵产物的吸收 .....	306
(二) 纖維素細菌和固氮細菌的共生 .....	308

1. 关于方法方面的意見.....	308
2. 纖維素分解产物是固氮細菌的能源.....	309
3. 纖維素細菌和固氮細菌的共同培养.....	311
(1) 需氧性纖維素細菌的研究.....	311
(i) 固氮細菌的繁殖.....	311
(ii) 氮素固定作用.....	320
(2) 嫌氧性纖維素細菌的研究.....	325
4. 是互生还是共生?.....	328
5. 在土壤中靠纖維素分解的氮素固定作用.....	331
6. 生物富氮的肥料.....	333
(三) 纖維素細菌和其他微生物的共生.....	336
(四) 纖維素細菌是無脊椎动物的共生者.....	339
1. 方法.....	340
2. 原生动物.....	342
3. 軟体动物.....	345
4. 甲壳綱动物.....	347
5. 昆虫.....	347
<b>五. 动物和人消化道中的纖維素細菌.....</b>	<b>354</b>
(一) 飼料中纖維素的含量.....	355
(二) 消化腺分泌物中没有纖維素酶.....	356
(三) 細菌在第一胃中的生存条件.....	356
1. 原生动物.....	357
2. 纖維素細菌.....	359
3. 纖維素分解产物和其生理学意义.....	365
4. 微生物的蛋白質.....	368
(四) 馬、齧齿类及其他动物盲腸中的微生物区系和纖維素分解.....	370
(五) 飼料的預先处理.....	371
(六) 人类对纖維素的消化.....	371
<b>六. 分解纖維素微生物的实践意义.....</b>	<b>374</b>
(一) 纖維素的好热性發酵.....	374
1. 高温下生物化学过程的速度.....	374
2. 發酵原料.....	376
3. 所应用的各种培养.....	376

---

4. 培养基.....	377
5. 中和作用.....	378
6. 纖維素發酵的数量.....	379
7. 酒精的形成.....	380
8. 酸的形成.....	382
9. 通气性.....	384
10. 金屬的影响.....	385
11. 木材的發酵.....	385
12. “纖維素气体”.....	387
(二)工業纖維素原料的分解.....	388
1. 經濟意义.....	388
2. 紡織品.....	389
3. 電纜和電綫的絕緣物.....	390
4. 魚网、繩及其他.....	392
5. 各种植物纖維的抵抗性.....	392
6. 紙、油毡紙以及硬紙.....	393
7. 植物細胞壁的破坏.....	395
(三)纖維素材料抵抗性的測定.....	396
(四)纖維素材料的防腐方法.....	400
七. 結論 .....	405
参考文献 .....	414
人名对照表 .....	431

### 三. 纖維素細菌的分布

#### 1. 地理分布

根据我們对于高等与低等植物分布的知識，使我們深信，植物有机体組織愈简单，其分布的地理性也就起着愈来愈小的作用。高等植物地理学是一門以大量的有关各种植物在地球表面分布的实际材料作为基础的学科。在研究孢子植物分布的时候，地理学因素已經起着極小的作用了。但是就真菌來說，我們完全有理由将真菌地理学看作一門科学，因为存在着某些能作为热带或其他区域特征的真菌类群。与此相反，不能認為細菌地理学有什么独特的意义，因为生态学因素在各种細菌类群的分布中，比地理学因素起着更为巨大的作用。

大家知道，某些被詳細描述过的菌种到处可以为人們發現。例如像真菌形有孢杆菌(*Bac. mycoides*)、枯草有孢杆菌(*Bac. subtilis*)等就是。在高等植物中，这是很自然的，不能指出任何一种植物是由赤道到北極圈都是同样地分布着。微生物的个体細小，其生理学的特殊性，尤其是它們获取必需的能量、和养料方式的極不相同，所有这些都使得同一个微生物种，在同一地理点，能以各种彼此間明显不同的生态小种(或譯为宗)的形式存在。由于同一菌种的代表，在不同地理带中，因气候或其他因素所引起的变异，較之在同一地理点上各生态因素所引起的变异要小得多。因此，生态学超越于地理学之上，我們举出下述事实以闡明这一点。根据米苏斯金(1947)的材料，真菌形有孢杆菌(*Bac. mycoides*)南方小种(宗)生长最适温度和最高温度較之北方族高出 $2-3^{\circ}\text{C}$ 。然而，布罗茨卡娅(Броцкая, 1947)却在莫斯科净化建筑物中發現了該菌种的高温小种，它与普通种不同之处在于其生长最适温度高出 $20^{\circ}\text{C}$ 。

纖維素細菌也一样。米丘林生物学关于有机体与外界环境条件統一的基本原理，也为纖維素細菌生物学特性所証实。

只有在高等植物开始合成纖維素之后，纖維素細菌才有可能發生；其进一步分布于自然界也决定于这一因素。故纖維素細菌只有在有纖維素的地方才被發現。

需氧性及嫌氧性纖維素細菌存在于土壤、池塘、河水、湖泊、海洋，植物材料堆(泥炭、干草、大麻纖維等)，昆虫与动物的腸道，以及厩肥等等之中。它們的所在地

也就是进行着纖維素分解的地方。

地理因素对于纖維素細菌分布的影响甚小。它們既存在于北冰洋的島上(伊薩琴科 Исаченко, 1914; 卡贊斯基 Казанский, 1932), 也存在于撒哈拉大沙漠(費赫(Feher, 1946), 北冰洋中(克利斯, 1945), 也存在于亚美尼亚的盐碱土中(帕諾香 Паносян, 1948), 既存在于取自北緯 80° 地区的土壤中(伊薩琴科与西馬科娃, 1934), 也存在于澳大利亚的各种土壤中(吉逊 Jensen, 1940)。

假使我們在两半球的地圖上将那些曾經發現了需氧及嫌氧纖維素細菌的地点作上記号, 那么便可以清楚地得到纖維素細菌是極其广泛地分布着的概念。凡是在人們进行过研究的任何国家及任何地区都發現了纖維素細菌。

最有趣的是, 同一种纖維素細菌能在極其不同的地理点上發現。在不同国度, 不同緯度里, 都發現了球形孢粘菌(*Sporocytophaga myxococcoides*)。我們完全有理由将它称为分布最广的需氧性纖維素細菌。

另外一个同样广为分布的纖維素細菌种的例子是 1936 年伊姆歇涅茨基和索恩澤娃命名的橢圓孢粘菌(*Sp. ellipso-spora*)。这是一种自莫斯科温室土壤中分离的纖維素細菌, 在濾紙上能形成橙黄色斑点并产生椭圆形的小孢囊。繼其首次記載之后, 不久, 吉逊(1940)在澳大利亚; 而以后果尔布諾夫(Горбунов, 1946, 1949)在伏尔加河三角洲上都相繼發現了它。各种分解纖維素的弧菌也是極其广泛地分布着的。然而, 这并不意味着, 所有上述菌种随着生态条件的改变, 不發生巨大变化, 也不形成極其适应于新的外界条件的生态小种。例如, 我們知道有一些能耐环境中相当高浓度的碘与硼的亲卤小种与亲卤型的纖維素細菌, 不能在不含食盐的培养基中發育等等。

上述的生态因素对于纖維素細菌的分布, 能起重大的作用。例如, 高温嫌氧性纖維素分解細菌, 在北方国家的發热的有机物質堆(厩肥、泥炭等)中, 極其旺盛的發展着, 当然它比在热带国家的土壤中發育得更好些。北方的施有厩肥的熟化得很好的土壤, 較之热带的施有机肥料少的土壤更富于高温纖維素細菌的这种情况, 也同样可以用生态因子來說明。

## 2. 纖維素細菌的計数

由于維諾格拉德斯基和奧梅梁斯基卓越的工作, 选择性培养基在微生物学实践中得到了广泛的应用。应用选择性培养基的实質在于, 借一定成份的培养基以創造只适于某一种具有一定生理特性的微生物發育的条件。能够自空气中吸取氮



素的固氮細菌，可以在無氮培养基中發育。应用不含有机碳化物但含有銨盐的培养基，能得到硝化細菌。还有，以纖維素作为唯一碳源的培养基，乃是用于取得纖維素細菌聚积培养所需用的选择性培养基。

选择性培养基的应用，使得人們發現更多新的轉化碳、氮、硫的微生物，似制出获得純粹培养的方法，并解决了一系列在微生物学領域中存在的原則性問題。

維諾格拉德斯基(1952)曾对創造并使用选择培养基的原理，作过極为清晰的闡述：“在选择性培养中有能使一定机能得以表现的适宜条件，……对于具有此种机能的菌种的适宜条件，由于其他微生物在这种培养基上不能生长或生长極弱，給予該菌种一切生长的可能性。”

因此，限制其它微生物的生长，并創造能引起某一作用的細菌發育所需的条件，便可保証获得其中含有大量該特殊細菌的聚积培养。

但是，随着微生物生理学和生物化学的巨大發展，以及有关微生物氮質与維生素营养方面的新資料的积累，促使我們去重新审查关于选择性培养基的問題。迫使我們去仔細研究选择性培养基的另一个原因是，許多具有一定生理作用的細菌，当用选择性培养基培养时所能生长的菌数是如此之少，以致使我們产生了选择性培养基沒有給予該菌的發育以充分的适宜条件的想法。首先，纖維素細菌便是这种情况。大家都知道，纖維素在自然界中存在着是極其普遍的；但是，在分析水池底土、土壤以及其他的天然基質时，所發現的嫌氧性纖維素細菌，却是極其少量的。当我們审查各个研究湖、河及海的微生物区系的研究者(所提供的)有关底土中微生物学分析資料时，我們發現了，正是池塘底土纖維素含量相当丰富时，其所得嫌氧性纖維素細菌数量却是極少。

在更仔細地研究了嫌氧性纖維素細菌的营养生理学以后，这一問題便有了解决的可能。我們所进行的有关研究指出，为了嫌氧性纖維素細菌的發育，必需要有复杂的氮化物(蛋白質或氨基酸綜合体)以及維生素。

这一結果是基于下述实验得来的。

研究方法是这样的：把土壤与水池底土的样本同时接种到在其底部事先放置有濾紙片的，并注入了奧梅梁斯基培养基的高試管中，同时也接种于我們称之为最适宜的培养基(即加有30%肉汁蛋白胨的奧梅梁斯基培养基)中。土壤与水池底土的各种稀釋液也接种于上述培养基中。将一組試管保温 $30^{\circ}\text{C}$ ，另一組，为了研究好热性嫌氧纖維素細菌，保温于 $60^{\circ}\text{C}$ 。

当检查兩組試管时，立刻就可见在装有最适宜的培养基的試管中嫌氧性纖

纖維素細菌旺盛發育(見圖 80)。培养基选择性的破坏, 使得我們發現了比应用普通的选择培养基时多 99 倍的細菌。我們認為必需強調指出这一情况, 因为所有的在本章中所引用的有关土壤及池塘中嫌氧性纖維素細菌含量的文献材料中其数目都極少。

这些实验的結果列于表 32。

表 32 將土壤接种于含纖維素的蛋白質培养基及选择性培养基中

实验	供 試 样 本	含纖維素的 5% 肉汁 蛋白胰液培养基						含纖維素的 30% 肉汁 蛋白胰液培养基						奧梅梁斯基培养基						
		稀 释 度																		
		1:10	1:100	1:1,000	1:10,000	1:100,000	1:1,000,000	1:10	1:100	1:1,000	1:10,000	1:100,000	1:1,000,000	1:10	1:100	1:1,000	1:10,000	1:100,000	1:1,000,000	
1	溫室土壤			+	+	+	-													
2	花園土壤			-	-	-	-													
3	M. Камушок 土壤	+	-	-	-	-	-													
4	溫室土壤	+	+	+	+															
5	馬的厩肥	+	-	-	-	-	-							+						
6	公園水池的淤泥	+	-	-	-	-	-							+						
7	M. Камушок 土壤							+	+	-	+			+						
8	溫室土壤							+	+	+	-			-						
9	花園土壤							+	+	+	+			-						
10	花壇土壤							+	-	-	-			-						
11	莫斯科州土壤							-	+	-	-			-						
12	亞美尼亞(阿拉格茲)土壤							+	-	-	-			-						
13	燕麦田土壤							+	-	-	-			-						
14	№7 土壤							+	+	+	-			-						
15	格魯吉亞土壤							-	-	-	-			-						
16	灰壤							+	+	+	-			-						
17	哈連魯尔湖淤泥							+	-	-	-			-						
18	安德烈耶夫斯基湖淤泥							+	-	-	-			-						
19	№62 土壤							+	-	-	-			-						
20	盆栽鉢中的土壤							+	+	+	-			+						
21	燕麦田土壤							-	-	-	-			-						
22	№7 土壤							+	-	-	-			-						
23	溫室土壤							+	-	-	-			-						
24	花園土壤							-	+	+	-			-						
25	溫室土壤							+	+	-	+			-						

由此可見, 當我們利用含有肉汁蛋白胰液体的培养基, 也就是用蛋白質培养基来分析土壤或者淤泥时, 我們常可發現大量中温型以及好热性的嫌氧性纖維素細菌。

上述实验可得出如下結論。

(1) 通常在許多研究者的工作中所發現的嫌氧性纖維素細菌比較少，是由于含有矿質态氮的选择性培养基，也可能是由于不含輔助营养元素(維生素)的培养基对嫌氧性纖維素細菌之繁殖不够适宜所致。当利用养料完全的，最适宜的培养基时，便可以發現采用一般常用方法所不能發現的嫌氧性纖維素細菌。

(2) 要使嫌氧性纖維素細菌能較好的發育，便要破坏选择性培养基的原則。在培养基中加入蛋白質便損害了培养基的选择性，这是因为，作为微生物碳質养料来源的已不仅是纖維素，而且还有蛋白質了。这样在培养基中除了纖維素細菌發育以外，还同样使得其他的伴生細菌也开始發育。然而它們的生长并不妨碍纖維素細菌的繁殖，在此不妨再次地強調指出，微生物間的互生关系是極其广泛的存在着的。

(3) 上述研究絲毫也不能削弱选择性培养基的作用。选择性培养基可以用来获得聚积培养，而这一步骤是在获得纖維素細菌純系培养时所必不可缺的。当然，研究者在这种情况下必需得到含有其他伴生細菌極少的培养体，这便要借助于选择性培养基才得实现。破坏了选择性原則的最适宜的培养基有着其他方面的应用；只是当需要發現具有某种作用的細菌时，方才使用它。

在关于最适宜培养基的著作發表以后，我們在文献中又發現了一些另有解释的資料。例如，史塔普和鮑特尔斯(Stapp und Bortels, 1934)应用矿物質的选择性培养基研究森林的枯枝落叶層时，未能得到嫌氧性纖維素的聚积培养；但当他們在这种培养基中加入了蛋白腴并以森林枯枝落叶接种时，嫌氧性纖維素細菌便开始發育了。

奥梅梁斯基(1917)作池塘底土的微生物的分析时，当把底土接种于以纖維素作为唯一碳源的合成培养基时，不能見到嫌氧性纖維素細菌的發育。当将同一土样接种于置有滤紙并含有乳酸鈉的硫酸还原細菌用的培养基时，便可見到纖維素細菌的生长及纖維素的分解。由此可见，在这些实验里也由于培养基在碳源方面之严格选择性之破坏，而使分解纖維素細菌發育較快。西馬科娃(Симакова, 1940)研究肉厂污水發現含氮物質(卵蛋白、血紅素等)，对纖維素細菌之發育有良好影响。她認為这是因为污水中含有特殊的纖維素微生物区系所致。但是，显然这也可能是由于，蛋白質对于各种嫌氧性纖維素分解細菌的良好影响。

关于需氧性纖維素細菌計数問題的解决較为简单。典型的纖維素需氧性分解的媒介物——粘液細菌与弧菌——不需要有机氮与維生素。它們在含有硝酸盐的

合成培养基中發育良好。由此可以理解，为什么在培养基中加入有机氮以及輔助的营养元素时，不能使它們的發育更为加速。

在我們所进行的初步試驗中，我們將少量的酵母自溶液加入赫奇逊(Hutchinson)培养基中。当接种土壤于这种培养基时，纖維素細菌的發育还不如接种于同样的，但不含有酵母自溶物的培养基中来得旺盛。但是这并不意味着，为了發現某些在需氧条件下，分解纖維素的纖維素細菌不需要任何其他輔助营养物質。大家都十分知道，有某些需要有机氮或維生素而不能在只含有矿質氮沒有維生素的培养基中生长的类型。当然，这种类型看到較少；在任何情况下，它們对自然界中纖維素的分解都不起什么大作用。

当提到纖維素細菌测数問題时，我們不能不指出，用来分离这类細菌的方法在很大程度上决定着被發現的微生物区系的特点。例如，在矽酸胶平板的濾紙片上生长的主要为粘液細菌与弧菌。

与此相反，用克列史頓逊法(Christensen, 1910)，就是在土壤表面置放濾紙片的方法，所得到的聚积培养中主要是放線菌及真菌。

用纖維素琼胶培养基計算土壤纖維素細菌的数目，較之將土壤稀釋液接种于液体培养基中或矽酸胶板上能获得更好的效果。根据哈姆逊(Harmsen, 1946)的材料，在纖維素琼胶培养基上长出的纖維素微生物的数目，較在液体培养基中多3—16倍。

所有这些情况在一定程度上增加了比較各个研究者所获得的结果和估价上的困难。

## (一) 土 壤

### 1. 土壤中纖維素分解作用的意义

在本書引言中，已經闡明了纖維素分解在元素循环中之一般意义。由于真菌、放線菌以及細菌生命活动的結果，大量包含在植物残体中的纖維素被分解了，終至形成二氧化碳。这一作用的范围是極其巨大的。借简单的实验方法就可以証明，在土壤中纖維素分解时二氧化碳之释出是多么旺盛。假使我們在含水60%的100克灭菌土壤中，加入0.5克濾紙，0.1克硝酸盐，0.1克磷酸鉀及1克石灰，然后接种混有需氧性纖維素細菌(包含無色及黄色弧菌)的土壤，那末36日中，自土壤中以二氧化碳形式放出的碳为68.6。在对照的实验中，以含有真菌的土壤接种，可以得到与此数量近似的二氧化碳；这就說明了，在这种实验条件下，真菌与細菌的活躍

性是相等的。

由土壤中放出的二氧化碳，重新又可供給高等植物利用。很自然地，这一巨大的过程是不可能为卓越的俄国学者 В. И. 維尔納德斯基(1940)輕輕放过的，他致力于生物地球化学問題的研究，并在此領域中作出了广泛的綜合評述。他說：“土壤元素的生物轉化自然是与  $\text{CO}_2$  的释放有关的”，这話，对我们所涉及的問題具有直接的关系。在另一地方他又說：“土壤呼吸在二氧化碳循环中起着巨大的作用”。

纖維素細菌的生命活动对于土壤形成过程也有着直接的关系。在岩石或泥灰石上的地衣中也發現它們。在微生物自然群社的条件下，由于纖維素細菌生命活动的結果，形成了各种不同的产物，可以促进最初阶段的土壤形成过程。在纖維素細菌發育的时候，其所产生的大量的酸以及释放出的二氧化碳，当然会在土壤形成过程中起着巨大的作用。

随着土壤的熟化，纖維素細菌的作用也愈益增加，因为此时土壤中的纖維素含量增大了。对于纖維素細菌之参与植物残体(茎、皮、根、叶等)的分解，应加高度的注意。現在当施行杜庫恰耶夫-威廉斯綜合农业技术措施的牧草种植問題成为农业生物学注意的中心的时候，多年生草根系的分解，不可能沒有纖維素細菌活躍作用，这一事实具有極大的实践意义。毫無疑問的，纖維素細菌在創造为土壤肥力所必需的稳固性结构中，也起着巨大的作用。还有，由于纖維素細菌的活动放出大量的  $\text{CO}_2$  会使各种元素的溶解度改变。纖維素分解的产物可能为許多其他的微生物利用，而这些微生物的活动性对土壤肥沃性是有着直接关系的。只要指出纖維素細菌与固氮菌的共生关系就足以說明这种情况了。

还应该指出，当纖維素分解的时候也同时进行着該纖維素細菌菌体的合成；因此，土壤中有機态氮的含量由于細菌細胞的累积而增加。在大堆纖維素分解时，纖維素細菌数量大大增加，因此也不能忽視纖維素細菌作为以有机質来丰富土壤的媒介物作用。

我們对土壤中纖維素分解作用的意义叙述得極为簡明。有关这一問題較為詳尽的分析是农业化学，农业生物学及土壤学的任务。

## 2. 决定土壤中纖維素細菌数量的因素

### (1) 土壤中纖維素的含量

大家都知道，纖維素細菌的各个专化性菌种，不論是需氧性的还是嫌氧性的，只能在有纖維素的地方生长發育。土壤中纖維素的含量变动于 0.5—5% 之間；当

然,一个数字指标不能起决定性的作用。實質上,較正确的說法不是指纖維素而是指植物殘体而言,在植物殘体中,除了纖維素以外还包含有一系列的其他物質。但是,假使我們在这种情况下,同时討論有关半纖維素、果胶与木素分解問題,这便不在我們研究任务之內了。

含有纖維素的植物殘体是極其多样化的,針叶林或闊叶林的森林枯枝落叶層,一年生或多年生植物的树皮,干枯的叶子、草茎等等。在个别的情况下,纖維素也可能在沒有高等植物的地方發現。例如,在沙漠中,由于土壤中藻类的發育,逐渐积累着少量的纖維素。当然,也有这样的可能,某些纖維素細菌不仅能利用纖維素并且也能利用其他的碳水化合物,因此,它能在不含纖維素的基質中發育。但是,恰如我們在前面所見到的,一切分布最广泛的纖維素細菌类型,也即这一作用的典型媒介物,除了纖維素以外对其他碳水化合物是不大吸收的。

### (2) 通气状况

在需氧性纖維素細菌生理学的叙述中,曾不止一次地指出过,所有需氧性纖維素細菌都是严格需氧的,培养的通气愈强烈,纖維素分解愈旺盛。这个基于實驗室研究得出的結論,也为生态学的观察所証实。

植物殘体及其所含的纖維素在土壤通气良好时分解得最强烈。土壤表層便是如此,随着土層的加深,纖維素的分解也变緩慢。通气的这种良好影响說明了,为什么一切土壤耕作,松土,能加强纖維素的分解作用。如斯拉夫尼娜(Славнина, 1938)指出,在生荒地中几乎不含分解纖維素的弧菌,而在耕作層中却經常得以見到。这当然不是意味着,嫌氧性纖維素細菌只能在一定土層深度,而需氧性纖維素細菌只能在土壤表面可以見到。由于需氧性腐生細菌活动的結果,某些嫌氧性細菌的繁殖,即使是在土壤的最表層也是可能的。另一方面,分解纖維素的需氧性細菌有时也能处在50厘米或更深的土層中。

### (3) 土壤反应

許多研究工作都指出,土壤反应对纖維素細菌的分布,有着强烈的影响。酸性土壤不适于纖維素細菌的繁殖;它們在中性土壤中生长較好,而在弱碱性土壤中發育特別良好。在这一方面它們有些与固氮菌相近,固氮菌除少数例外,也不在酸性土壤中生长。纖維素細菌与不同反应的土壤之关系可举下述杜波(Dubos, 1928)之实验为例。在同一土壤中借硫酸或石灰造成各种不同酸碱度,然后在其中加入1.5%纖維素;最后用稀释法測定在不同酸碱度的土壤样本中的纖維素細菌的数目。这一实验証明, pH8.7 时土壤中不含有纖維素細菌, pH8.5 时有 25 万, pH8.2、

7.0 以及 6.5 时，纖維素細菌数为 2,500 万，一直到 pH 6.0 时，它又只有 25 万了。而在 pH 5.2 或 5.4 的酸性土壤中，纖維素細菌完全沒有發現。同一作者繼續以酸性反应 (pH 5.5) 的土壤进行实验。在这种土壤中加入纖維素，然后测定其所放出的  $\text{CO}_2$  量，纖維素分解的百分数以及需氧性纖維素細菌之数量。经过这一实验表明，在最初 pH 为 5.5 的酸性土壤中，有 55% 纖維素被分解了。如在此种土壤中加入 0.1 克硫酸铵，便使作用加速，有 96% 的纖維素被分解。但是，如果是将同样的氮施入 pH 为 6.8 的中性土壤中，则使得纖維素分解作用更形加速，有 99% 纖維素被分解掉。在这种情况下，需氧性纖維素細菌的数目增加到每克土 1,000 万。

由是，可以肯定地認為，土壤的酸性反应是不适于纖維素細菌發育的。切普里亚柯娃 (Теплякова, 1950) 指出在具有较大酸性反应的强灰化土中，纖維素細菌数量较弱灰化土中为少。在不同反应的土壤中施入厩肥和藁秆，效果是不一样的。吉逊在 pH 7.0 的中性土壤中施入厩肥和藁秆，观察到需氧性纖維素細菌的数目大大增加，在其中某一次分析中甚至在稀释度为 1:100 万时也见到。在 pH 为 3.8 的酸性土壤中，施厩肥及藁秆，便不能得到这样的效果。

吉逊 (1931) 还指出，分解纖維素的弧菌仅仅只能在碱性或中性反应的土壤中發育；而生长在 pH 5.8—6.3 的条件下的蝕孢粘菌 (*Sporocytophaga*) 敏感性很小。

这些实验结果，恰恰证实了作者们那些研究环境反应对纖維素細菌純系培养發育的影响所得到的材料。

切普里亚柯娃 (1950) 認為，不論是在酸性，中性，或碱性土壤中，纖維素細菌与真菌的活动同等地决定着纖維素的分解。但是絕大多数的研究工作提出了某些不同的規律：在中性与碱性土壤中是纖維素細菌占优势，而在酸性土壤中占优势的，則是真菌 [哈姆逊, 1946; 瓦克斯曼和杜波, 1927; 瓦克斯曼和海依克列基昂 (Waksman and Heukelekian, 1924, 1926; ) 瓦克斯曼和史金納 (Waksman and Skinner, 1926)]。

#### (4) 土壤湿度

纖維素細菌的發育，需要有足够的土壤湿度。在这方面纖維素細菌与真菌及放线菌是不同的，后二者能在湿度較小的情况下生长發育。适宜于纖維素細菌發育的土壤湿度为 60—70 %。

湿度对于纖維素細菌繁殖速度的影响，可由下述实验証明。在 200 克中性土壤中加入 0.75 克纖維素与 25 毫克硫酸铵，然后以纖維素細菌接种。土壤湿度依各处理而不同。实验証明，当湿度为 30% 时，細菌發育不良，其分析之结果如下：纖

纖維素細菌 2 万, 放綫菌 1,400 万。当湿度为 50% 时, 纖維素細菌为 2 万, 放綫菌 6 万; 湿度 66% 时, 細菌为 2,000 万, 放綫菌 3 万; 而当湿度为 95% 时, 細菌 200 万, 放綫菌 14,000 万。

由此可見, 土壤湿度低, 放綫菌發育較細菌为好。这种情况, 就使得人們把放綫菌列为相当抗干燥的有机体了。高湿度不妨碍放綫菌的發育, 但却大大加强細菌的活动性

根据瓦克斯曼的材料, 适宜于需氧性纖維素細菌發育的土壤湿度, 是当土壤含水量为其最大持水量之  $\frac{2}{3}$  时。

很自然地, 随着土壤湿度的大大增加, 通气情况趋向恶化, 因而, 高湿度为嫌氧性纖維素細菌之發育創造了良好条件。我們不应当将各个因素的影响看成是孤立的, 对于土壤湿度也是这样, 因为当湿度增加时, 反硝化細菌便进行活动, 这首先便使得土壤中硝酸盐含量降低。硝酸盐的缺乏可以阻碍需氧性纖維素細菌的繁殖, 因为通常在纖維素含量丰富的土壤中氮素是纖維素細菌發育的限制因素。

#### (5) 氮、磷与鉀

早在纖維素細菌培养第一次分离出来以前, 农学家們便清楚地知道, 当纖維素以綠肥、藁秆、泥炭等形态大量施入土中时, 便导致土壤矿質态氮含量减低, 这种氮素是分解該有机質的細菌, 为了組成其自身原生質所必需的。因此, 当土壤施入纖維素后的第一年, 产量通常不是提高而是减低。

这些观察繼而为有关的实验研究所証实。其数極多, 我們仅叙述下列实验。

在湿度为 65% 的 100 克土壤中加入: 1 克滤紙, 200 毫克碳酸鈣, 50 毫克磷酸二氢鉀及 20 毫克硫酸鎂。然后在不同的实验中再加入不同量的硝酸盐。

这些研究指出, 施入的硝酸盐量愈多, 纖維素的分解进行愈快。例如, 在施入 5 毫克硝酸盐的处理中, 所施入的 1 克纖維素中, 剩下未分解的还有 675 毫克。当增加硝酸盐含量至 20 倍, 也就是施入 100 毫克时, 几乎所有的纖維素都分解了, 而在土中仅留有 27 毫克的纖維(瓦克斯曼和史金納, 1926)。

由此可見, 在被分解的纖維素与所吸收的氮素之間存在着一定的比例关系, 这一点我們在叙述纖維素細菌生理学一段时已作了較为詳尽的討論。这个系数一般約在 1:20 到 1:30。当然, 那些用以构成微生物原生質的氮素, 在后来細菌細胞破坏后, 由于氨化与硝化微生物活动的結果可以又重新轉化为硝酸盐。显然, 这就說明了, 为什么在施入含纖維素的肥料后的第二三年产量会有提高。無疑地, 在这方面起着显著作用的, 还有借纖維素分解产物而發育的固氮細菌。



上面所談到的均屬需氧性纖維素細菌的情況。至于各种氮化物对于土壤中嫌氧性纖維素細菌之影响，还未曾研究。但有着这样的报告，即土壤中施入蛋白質态氮素能强烈地刺激嫌氧性纖維素細菌的發育[杰門契耶夫(Дементьев, 1941)]。

腐植質土壤中纖維素的分解情况复杂得多。为了闡明在这种土壤中纖維素分解所必需的条件，克列斯頓逊(Christensen)用以闡明各种不同泥炭土壤中纖維素分解程度的方法，頗为有用。其实質如下：在盛在培养皿或烧瓶中的土壤表面放一塊濾紙。在这种待研究的土壤中加入各种無机化合物，纖維素細菌悬液等等。这种方法可以使我們查明，是某种具体条件阻碍了纖維素的分解。

这一方法指明，在高位泥炭中施入鈣、磷、鉀与鎂不能改变其总的情况，而泥炭表面的濾紙不被分解。但当加入硫酸銨以后纖維素便开始分解。显然，在这种泥炭土中，氮素处于不能为纖維素細菌利用之形态——可能是以腐植質态存在。

研究低位泥炭所得到的却完全是另一种結果。在这种情况下，纖維素細菌發育的限制因素是磷，施入磷能引起纖維素分解。在这些实验中，纖維素既不能在施入了纖維素細菌悬液的瓶中分解，也不能在沒施入纖維素分解細菌的瓶中分解。但是当这些土壤中施入了碳酸鈣以及磷酸二氫鉀时，在两种情况下，也就是說，不論是接种或未接种細菌的样本中，都可見到纖維素之分解。这便指明了，在泥炭土中有纖維素細菌存在，但是由于环境反应不适宜以及磷酸缺乏而不得發育。

土壤中纖維素分解的問題在北方土壤的熟化中，更有巨大的意义，因在北方土壤中植物残体的分解特別緩慢。确定在每一种具体情况下促进纖維素迅速分解的条件，是土壤微生物学的任务之一。

#### (6) 季节

土壤的温度，湿度，及其中的纖維素含量在一定的程度上受季节因素的影响。極多的研究者指出，土壤中纖維素細菌的数量在夏末时最多。但是这并不是說，在早春及秋末土壤中沒有纖維素之分解。問題在于，需氧性纖維素細菌的生长适温及最低温度是極低的。在温度为8—10°C时还能进行纖維素之分解。但由于显著的原因，土壤中纖維素細菌的总量到秋天是逐渐增长的。根据索罗庚(Сорокин)的材料，在微生物区系質的組成上，到秋天也有变动。在秋天的月份里蝕孢粘菌(*Sporocytophaga*)的数量也在增加。

#### (7) 不同土壤層次中纖維素細菌的数量

早已指出，需氧性纖維素細菌的数量决定于一系列的因素，其中，土壤上層纖維素的高含量及其表層之良好通气状况是主要因素。因此，随着土層之加深土壤