

カビ臭物質産生藻類 *Phormidium tenue* に関する実験

東北学院大学工学部 学生員 石森政行

正 員 石橋良信

中目賢治

1. はじめに

水につく異臭味とくにカビ臭は琵琶湖、霞ヶ浦をはじめ全国各地の水道水源で問題になっている。仙台市の主要水源釜淵湖でも藍藻類 *Phormidium tenue* (*P. tenue*) を原因生物とするカビ臭が昭和55年以来発生している。全国的には現在、カビ臭原因物質やカビ臭生物の同定、また、カビ臭物質と量的にとらえようとする動向にあり、カビ臭物質生成の生化学的アロー-子はほとんどなされていない。

本報告では *P. tenue* によるカビ臭物質 *Z*-methylisoborneol (*Z*-MIB) の生成過程をふまえた考察と試み、カビ臭発生機構解明の一助とするとともに、初冬に臭気が上昇する現象について若干考察を加える。

2 イソプレノイド化合物とメバロン酸経路

現在同定されているカビ臭物質の主たるものは、*Anabaena*, *Oscillatoria* のある種が産生する *geosmin* と *P. tenue* が産生する *Z*-MIB の2つである。*geosmin* は双環性セスキテルペン、*Z*-MIB はショウノウに類似した双環性モノテルペンであり、ともにメバロン酸経路によって合成されるイソプレノイド化合物(テルペン)であり、図-1に示すようにこれらテルペン類の生成前駆体はビルビン酸、アセチル CoA, ゲラニルピロリン酸あるいは間接的に作用するゲラニオール等である。

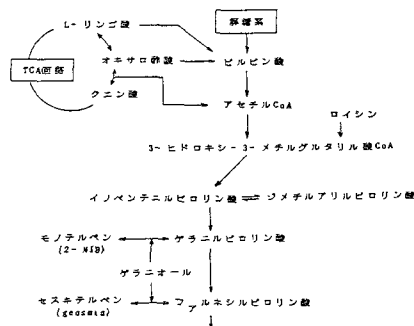


図-1 カビ臭物質の生合成(メバロン酸経路)

1) 等より作製

3. 増殖およびカビ臭物質生成促進物質

3-1 実験方法

実験は単藻培養の後大量培養した *P. tenue* 中に前項の生成過程を考慮し、入手可能な薬品とスパーカーとして添加し、増殖の推移をみた。

表-1に試料番号、添加薬品、量を示す。なお、培養はBG-11を培地に照度白色蛍光灯下500 lx、恒温20℃で行なった。また液量は300ml、静置培養でときどき手で振とうした。指標はpH、臭気濃度(TO)、Chl-a、藻体数である。

3-2 実験結果および考察

実験1において薬品を添加していないNo.5に比して、ビルビン酸を添加した図-2に示すNo.1はChl-aの値はやや低いものの、早く増殖がはじまる傾向にある。一方、ゲラニオールやメバロン酸経路に間接的に働くNo.4の薬品ではChl-a、pHはともに上がらず、ほとんど増殖が認められない。したがって、メバロン酸経路の出発点であるビルビン酸、アセチル CoA を刺激することが、経路途中に薬品を添加することよりイソプレノイド合成の点では重要であることが示唆された。

この観点より、ビルビン酸、アセチル CoA の酸化を助長するものとしてTCA回路有機酸、とくにL-リンゴ酸、クエン酸等が考えられる。ビルビン酸にクエン酸を添加した際の実験結果(実験2, No.)を図-3に示す。Chl-aは、培養日数7日目で85 μg/l で、培地だけのNo.6と比較して2倍程度の値を示している。この傾向はNo.2においても同様であった。また、間接的な酢酸No.4は位相をずらして増殖するようである。以上より、実際

表-1 実験番号および添加薬品

実験1			
No. 1	ビルビン酸	20mg/l	
No. 2	メバロン酸	10	ゲラニオール 10
No. 3	ビルビン酸	20	メバロン酸 10
No. 4	α-萜品	20	1,8α-萜品 20
No. 5	1,8α-萜品	20	プロピオン酸 20
No. 5	増殖のみ		
実験2			
No. 1	ビルビン酸	20	クエン酸 20
No. 2	ビルビン酸	20	L-リンゴ酸 20
No. 3	ビルビン酸	20	クエン酸 20
No. 4	L-リンゴ酸	20	酢酸 20
No. 5	ビルビン酸	20	
No. 5	増殖のみ		
実験3			
光のスペクトル変化による影響			

の湖でも、N,P等の栄養塩による増殖のみならず、TCA回路有機酸の影響も大なるものと推察される。なお、TOはCHL-aより遅れて上昇する傾向が認められる。

4. 58年度釜房湖カビ臭発生状況
今年度は梅雨期寒く、春から夏には藻臭が続いたが、8月中旬になってカビ臭に変化した。この時期の*P. tenue*の藻体数は例年になく多く14000⁷/mlであるが値はTO40で高くない。なお、カビ臭の発臭日と予測する有効積算温度は4年連続一致していた。

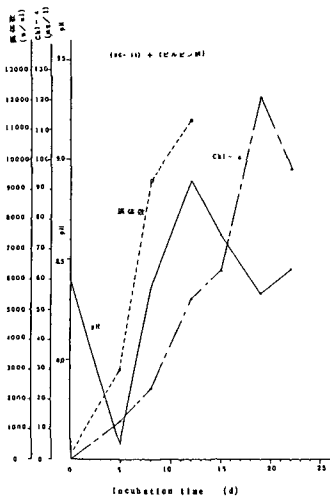


図-2 *P. tenue*の増殖曲線 (実験1, No.1)

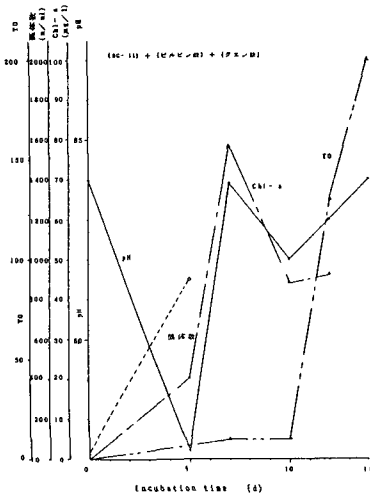


図-3 *P. tenue*の増殖曲線 (実験2, No.1)

一方、今年度も*P. tenue*によるカビ臭の全国的な現象と同様に晩秋から初冬にかけてのTOの上昇がみられ、12月6日の時点で藻体数は88⁷/mlと少ないにもかかわらずTOは今年度最高の50と示している。ところで、この晩秋から初冬にかけてのTO上昇に関して、冬に向って増える栄養塩類の影響等の他に光が弱くなることと光質が短波長域にずれることが原因の1つと仮定しなり。すなわち、

表-3 釜房湖の季節によるスペクトル変化

月	日	夏 (400~180nm)		夏 (180~515nm)		秋 (515~565nm)		冬 (565~800nm)		冬 (800~1000nm)	
		割合%	割合%	割合%	割合%	割合%	割合%	割合%	割合%	割合%	割合%
0		8.9	16.7	13.6	13.2	15.5	32.1				
1	M	20.3	22.6	25.9	21.3	9.94	0				
1	F	20.3	22.6	25.9	21.3	10.0	0				
2	M	18.2	22.6	29.8	25.1	4.35	0				
2	F	19.1	22.6	31.4	21.0	4.07	0				
3	M	15.5	21.0	32.7	28.3	1.89	0				
3	F	17.5	24.8	36.4	20.0	2.18	0				
1	M	13.0	20.2	35.0	11.1	0.77	0				
1	F	15.2	24.1	41.1	18.8	0.89	0				
3	M	10.6	18.6	38.8	11.7	0.11	0				
3	F	12.7	21.3	46.6	17.0	0.42	0				

藻類の活性は弱光において顕著になる光律速形であること、青色光(短波長)域では糖の分解や物質の生産を促進させる方向に向い、またレーリソコ酸のとり込みや、オキサロ酢酸を供給するホスホエノールピルビン酸カルボキシラーゼの活性を増加させるといわれている³⁾。なお、この種の藻類では波長450~460nmの青色域が有効とされており、500 erg/cm²sの弱光反応で飽和されるといわれている³⁾。表-3は釜房湖の透明度、吸収係数、1mあたりの光の減衰率や季節的、気象的な光の入射角、屈折角、光学距離等と考慮して計算したときの深度別の照度の減衰を示している。ここで夏至と冬至の水面直上の照度をそれぞれ110klx、50klxと仮定した。光強度は湖水に入るとともに極端に減少し、深度につれて著しく減衰する。*P. tenue*が好むと思われる、実験室レベルの2000lxは夏季には4m前後、冬季には3mやや下になり、朝夕はさらに弱光になると考えられる。一方、表-2に釜房湖での光スペクトルの深度別割合の変化を示す。スペクトルは湖水にのちの光の屈折で大きく変わり、赤色はほとんど吸収されなくなる。その分だけ短波長側の増加が認められることになるが、秋から冬には青色系の割合が若干ふえる傾向にある。なお、今後これら光との関係をさらに詳細に実証したい。

表-2 釜房湖の季節による照度変化

深度 (m)	夏 至 照度 klx	冬 至 照度 klx
0	110.0	50.0
1	22.0	9.73
2	4.49	2.01
3	0.92	0.417
4	0.19	0.086
5	0.038	0.018

5. おわりに

カビ臭物質生産にはTCA回路有機酸が影響することが知れ、また、晩秋から初冬のTO1.5倍には弱光反応と青色域へのスペクトル変化が原因の1つと推論された。最後に仙台市水道局、卒研生平松敦史君の労に感謝する。

参考文献 1) 旭 正:代謝工, 朝倉書店, PP.13~149 2) 石橋, 佐藤他: 第20回衛生工学研究討論会, PP.82~94

3) 宮地他: 光合成と物質生産, 理工学社, PP.297~333.