



土臭味 (earthy-musty) 与 土臭素 (Geosmin)

李岚宇
2017年5月14日

目录

01 写在前边，鱼腥味&土臭味↔鱼类土腥味

《Geosmin as a source of the earthy-musty smell in fruits, vegetable sand water: Origins, impact on foods and water, and review of there moving techniques.》

02 文章简介与土臭素基本信息

03 土臭素合成途径与分析测定

04 GSM分子的产生（来源）

05 GSM分子的破坏与排除



Contents lists available at ScienceDirect

Chemosphere

journal homepage: www.elsevier.com/locate/chemosphere



Review

Geosmin as a source of the earthy-musty smell in fruits, vegetables and water: Origins, impact on foods and water, and review of the removing techniques



Viacheslav Liato ^{a, b}, Mohammed Aïder ^{a, b, *}

CN 104304830 A

说明书

1/8 页

一种去除淡水鱼土腥味的饲料添加剂及其应用

技术领域

第 34 卷

分析化学 (FENXI HUAXUE) 研究简报

特刊

[0001] 本发明属于涉及饲料添加剂技术领域,具体涉及一种去除淡水鱼土腥味的饲料添加剂及其应用。

2006 年 9 月

Chinese Journal of Analytical Chemistry

S165 ~ S167

鲤鱼体中鱼腥味物质的提取和鉴定

周益奇 王子健*

(中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室,北京 100085)

—— 01 写在前边，鱼腥味&土臭味 ——

01 鱼腥味&土臭味

首先明确一点---鱼腥味≠土臭味

虽然它们都能使主要感觉（嗅觉及味觉）产生厌恶感，但是从化学的角度上讲这两种异味从化学成分到化学结构都是不同的；生物上来说它们的产生来源也是不同的。但是，由于观感和言语表达的接近，一般人们常常将其混为一谈，就是-----臭。



01 鱼腥味&土臭味



二者的化学成分与产生来源



三甲胺和哌啶等

鱼肉蛋白质的代谢和腐败



鱼腥味



土臭素 (GM) 和 2-甲基异茨醇 (2-MIB)

各种微生物如蓝藻，放线菌，原生动物和真菌生长期间产生的气味次级代谢产物。



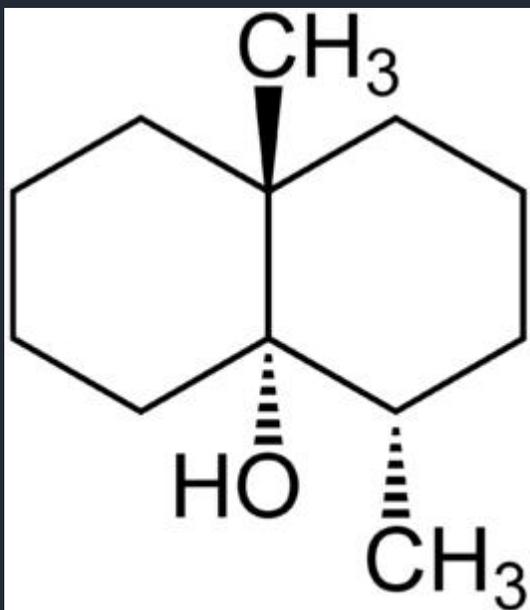
土臭味

鱼类土腥味

01 鱼类土臭味元凶---土臭素(GM)和 2-甲基异茨醇(2-MIB)

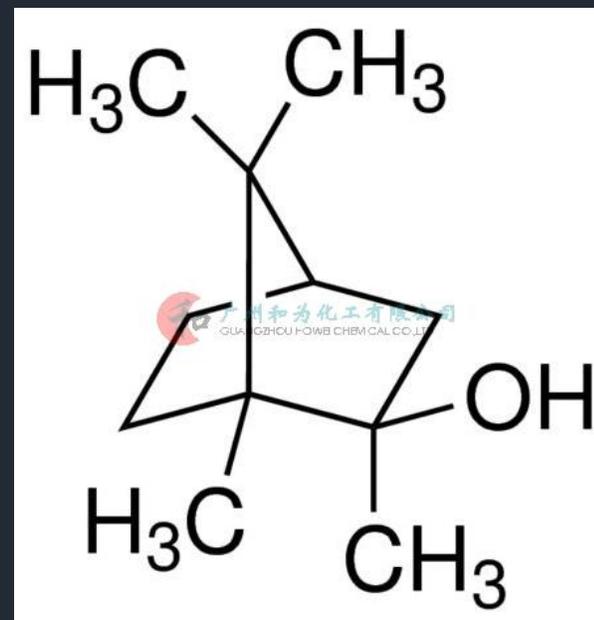
土臭素(GM)

土臭素（二甲萘烷醇）(geosmin)是一种具有强土腥味的化合物，多由放线菌和蓝藻合成并分泌到水中，被水产动物吸收后产生异味。



2-甲基异茨醇(2-MIB)

也称为二甲基异冰片
←产生原因同左



《Chemosphere》（《化学圈》）

（影响因子：3.698/
2017年新的4.068）

02

《Geosmin as a source of the earthy-musty smell in fruits, vegetable sand water: Origins, impact on foods and water, and review of there moving techniques.》

Viacheslav Liato（维亚切斯拉夫-列托）

Mohammed Aïder（默罕默德-埃德）

《Geosmin作为水果，蔬菜和水
中土质霉味的起源，对食物和水的影响，以及对驱除技术的探讨》

Chemosphere 181 (2017) 9–18

Contents lists available at ScienceDirect

Chemosphere

journal homepage: www.elsevier.com/locate/chemosphere



ELSEVIER



Review

Geosmin as a source of the earthy-musty smell in fruits, vegetables and water: Origins, impact on foods and water, and review of the removing techniques



Viacheslav Liato ^{a, b}, Mohammed Aïder ^{a, b, *}

02 (1) Abbreviations (缩略语)

IUPAC International Union of Pure and Applied Chemistry (国际理论化学与应用化学联合会)

WTP water treatment plant (污水处理厂)

UV ultraviolet photolysis (紫外光解)

PDS potassium peroxydisulfate (过二硫酸钾)

t-BuOH t-butyl alcohol (叔丁醇)

DO dissolved oxygen (溶解氧)

AC active carbon (活性炭)

LTER long-term ecological research (长期生态研究)



02 (2) 土臭素 (GEM) 的基本信息

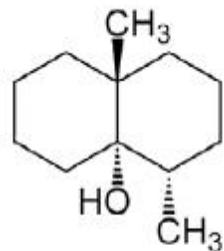


Fig. 1. The molecular structure of geosmin (trans-1, 10-dimethyl-trans-9-decalol).

根据IUPAC,

1、GSM的分子 (4S, 4aS, 8aR) -4,8a-二甲基-1,2,3,4,5,6,7,8-八氢萘-4a-醇的**等萜烯**, 另一种名称是反式-1,10-二甲基-反-9-癸醇 (图1)。

2、它近似沸点为 270°C , 其含有碳和氢, 但不含氮。

3、与酸的反应产生无味的中性油,

4、沸点约为 230°C 。

折射率 (1.4650 ± 0.0029 CL), 密度 (0.9494 ± 0.0127 g/cm³), 水溶性 (150.2 ± 4.1 g · L⁻¹)

02 (2) 土臭素 (GEM) 现状简介

早在19世纪，科学家在研究雨后的森林里的土壤的气味时。第一次发现了该物质---Geosmin (GSM具有泥土和发霉的气味特征。

随后在许多其他地方如：饮用水，各种水果和蔬菜以及水产品中发现了同样的GSM分子。



02 (2) 土臭素 (GEM) 现状简介

而且，人类鼻子由于对GSM非常敏感，并且具有非常低的气味阈值（6-10ng / L）。即使经过各种工业加工处理，消费者通常也会从7ng / L开始出现反感与厌恶。

虽然GSM没有引发公共卫生问题，但是饮用水供应和食品中令人讨厌的口味和气味依然被认为是一个影响经济的全球性问题。

据美国农业部估算，仅美国的鲶鱼养殖业，因为土腥异味的的原因，养殖者每年就会因此损失总计一千五百万到两千三百万美元。

02 (2) 土臭素 (GEM) 现状简介

GSM的分子是通过各种微生物如蓝细菌，放线菌，原生动物，霉菌和真菌。在生长期间产生的气味次级代谢产物大量的GSM被保留在微生物细胞中，可以在某些物理过程破裂的情况下，从细胞中释放出GSM。



03 土臭素合成途径与分析测定



03 土臭素合成途径与分析测定---合成途径

GSM的新陈代谢和生物合成途径还没有完全阐明。

对影响微生物的GSM生产的因素也还没有很好的理解。温度，光照强度，营养成分（铁，氮，磷，铜等）和细菌（群体感知）之间的相互作用这些对气味分子的产生有影响。

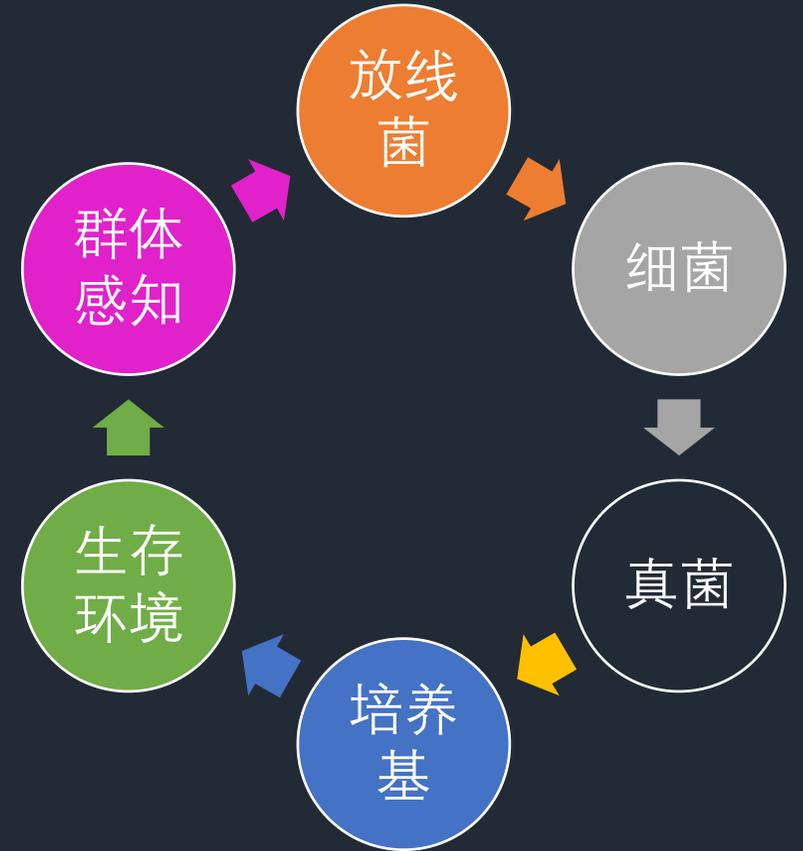
GSM的生物合成途径最近受到了广泛的关注。Bentley和Meganathan在链霉菌的实验中已经取得了很大的进步。



03 土臭素合成途径与分析测定---合成途径---微生物合成

虽然放线菌通常被认为是GSM形成的主要原因，但其他微生物如细菌和真菌也被认为是对GSM形成的因素之一。应该注意的是，通过对气味的强度的比较，在GSM浓度和微生物群体之间没有发现恒定的相关性。除此之外，在营养培养基上培养微生物也可能引起GSM生产的萎缩。

关于不同培养基组成中放线菌行为的研究表明，根据碳底物和金属（K, Zn, Fe, Cu）的性质，微生物可能产生或多或少的GSM。在面临危险或压力的同时，微生物的GSM生产机制也将改变。当放线菌与蓝细菌（*Oscillatoria tenuis*）一起培养时，放线菌产生更多的GSM，因此假定产生微生物具有某些气味分子的群体感知。



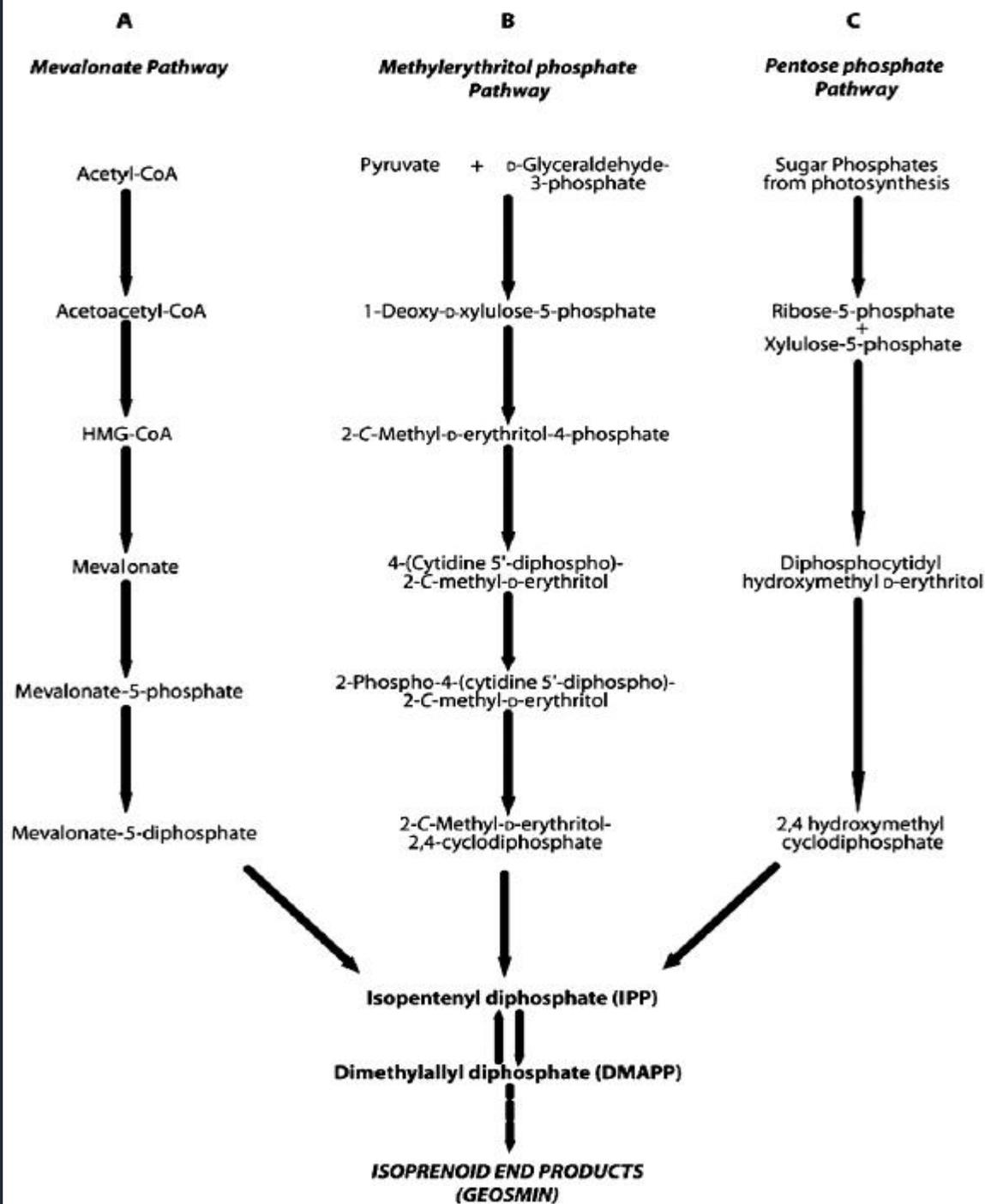


Fig. 2. Biosynthetic scheme of isoprenoids and subsequently geosmin formation via the mevalonate pathway (A), the methylerythritol phosphate pathway (B), and the hypothetical Pentose Phosphate pathway (C). Precursor metabolites are derived from the citric acid cycle in A, glycolysis in B, and sugars from photosynthesis in C (Gill, 2006).

通过甲羟戊酸途径 (A)，甲基赤藓糖醇磷酸途径 (B) 和假戊糖磷酸途径 (C)，形成类异戊二烯的生物合成方案。前体代谢产物来自A中的柠檬酸循环，B中的糖酵解，C中来自光合作用的糖。

异戊烯二磷酸 (IPP)

烯丙基二磷酸 (DMAPP)

类异戊二烯终产物 (土臭素)

03 土臭素合成途径与分析测定---GSM检测技术

GSM分子具有极低的气味检测密度 ($\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$)。

分析方法	特点
气相色谱 - 质谱 (GC-MS)	万亿 (ppt) 水平的代谢物的高灵敏度测量
酶法 (ELISA)	高水平检测 ($1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 的快速GSM检测技术, 但费用相当高
PCR结合变性梯度凝胶电泳 (DGGE)	通过体外扩增产生大量特定的DNA序列
风味谱分析”或“阈值气味数”感官分析	依赖于感测能力的使用非标准法测量控制来确定饮用水和食品中允许的主观浓度的定性技术。 个人

—— 04 GSM分子的产生（来源） ——

04 GSM分子的产生（来源）

GSM的分子在食物和水中通常以负面的方式被认定为霉味/泥土气味，相关GSM产生来源的一些例子如下表1-4所示。

涉及GSM生产的微生物存在于许多栖息地，如土壤，沉积物和生物膜。

饮用水中的霉味/泥土味道与放线菌最为相关，放线菌广泛分布于自然界，在土壤中相当普遍。放线菌对水工业造成了相当大的麻烦，并且是饮用水消极味道的主要来源。



04 GSM分子的产生（来源）---水体

Table 1

Location and specific microorganisms associated with the earthy/musty odors emitted by geosmin in water.

Water	Lake Ontario	<i>Anabaena lemmermannii</i>	(Watson et al., 2003; Gill, 2006)
	Lake Loosdrecht, Netherlands	<i>Aphanizomenon</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Synechococcus</i> , <i>Prochlorothrix hollandica</i> , <i>Oscillatoria</i>	(Casamatta et al., 2005; Zwart et al., 2005)
	Drinking water, Saint-Lawrence river (Canada)	Actinomycetes, <i>Cyanobacteria</i>	(Parinet et al., 2010)
	Drinking water, Wahnbach reservoir (Germany)	<i>Cyanobacteria</i>	(Jahnichen et al., 2011)
	Biologically treated wastewater, Tokyo	Actinomycetes, fungi	(Urase and Sasaki, 2013)
	Drinking water, lake Ogletree,	<i>Oscillatoria perornata</i>	(Saadoun et al., 2001)
	Drinking water, South Korean	Actinomycetes, streptomycetes	(Lee et al., 2011)
	Fresh water	<i>L. eptolyngbya foveolarum</i>	(Nelissen et al., 1996)

Table 1 Location and specific microorganisms associated with the earthy/musty odors emitted by geosmin in water. (Geosmin在水体中排放出泥土/霉味的相关位置和特定微生物。)

04 GSM分子的产生（来源）---水体

Water
Lake Ontario
Lake Loosdrecht, Netherlands

Drinking water, Saint-Lawrence river (Canada)
Drinking water, Wahnbach reservoir (Germany)
Biologically treated wastewater, Tokyo
Drinking water, lake Ogletree,
Drinking water, South Korean
Fresh water

Anabaena lemmermannii
Aphanizomenon, Planktothrix, Microcystis, Synechococcus,
Prochlorothrix hollandica, Oscillatoria
Actinomycetes, Cyanobacteria
Cyanobacteria
Actinomycetes, fungi
Oscillatoria perornata
Actinomycetes, streptomyces
L leptolyngbya foveolarum

- 1、Lake Ontario（安大略湖） *Anabaena lemmermannii*（鱼腥藻）
- 2、Lake Loosdrecht, Netherlands（洛斯德雷赫特湖，荷兰）
Aphanizomenon（丝囊藻）、*Planktothrix*（浮丝藻）、*Microcystis*（微孢藻）、*Synechococcus*（聚球藻）、*Prochlorothrix hollandica*（猪尾藻）、*Oscillatoria*（颤藻）
- 3、Drinking water, Saint-Lawrence river (Canada)（饮用水，圣劳伦斯河（加拿大））
Actinomycetes, Cyanobacteria（放线菌，蓝细菌）
- 4、Drinking water, Wahnbach reservoir (Germany)（饮用水，瓦根巴赫水库（德国））
Cyanobacteria（蓝细菌）
- 5、Biologically treated wastewater, Tokyo（生物处理废水，东京）
Actinomycetes, fungi（放线菌、真菌）
- 6、Drinking water, lake Ogletree（饮用水 欧格利特湖），*Oscillatoria perornata*（秋葵颤藻）
- 7、Drinking water, South Korean（饮用水，韩国）
Actinomycetes, streptomyces（放线菌，链霉菌）
- 8、Fresh water（淡水）
Leptolyngbya foveolatum（鞘丝藻）

04 GSM分子的产生（来源）---植物体

Table 2
Plant materials and specific microorganisms associated with the earthy/musty odors emitted by geosmin.

Plant	Red beets (<i>Beta vulgaris</i>)	<i>Steril conditions</i>	(Lu et al., 2003)
products	Red beet (<i>Beta vulgaris</i>)	<i>Streptomyces</i> sp.	(Murray et al., 1975; Acree et al., 1976; Tyler et al., 1978a)
	Pome fruits (apples, pears, and cherries), oilseed crops	<i>Penicillium expansum</i>	(Mattheis and Roberts, 1992)
	Grapes	<i>Penicillium expansum, Botrytis cinerea</i>	(La Guerche, 2004; La Guerche et al., 2005; La Guerche et al., 2007; Correia, 2012)
	Peas	<i>Streptomyces griseus, Streptomyces odorifer</i>	(Gerber, 1977; Gnah and Harris, 1985)
	Potatoes	<i>Streptomyces</i> sp.	(Gerber, 1977)
	Cereal grains	<i>Streptomyces</i> sp.	(Gerber, 1967; Vázquez-Araújo et al., 2011)
	Cooked beets (<i>Beta vulgaris</i>)	Undefined	(Parliment et al., 1977; Tyler et al., 1979)
	Beet sugar	Actinomycetes, <i>streptomyces</i> sp.	(Gerber, 1967; Pihlgård et al., 2000)
	Grain sorghum	<i>Rhizopertha dominica</i>	(Vázquez-Araújo et al., 2011)
	Canned mushrooms	Undefined	(Whitfield et al., 1983)
	Vegetables, nuts, cheese	<i>Penicillium discolor, Penicillium. echinulatum</i>	(Frisvad et al., 1997)
	Dry beans (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	<i>Streptomyces</i> sp.	(Buttery et al., 1976; Gerber, 1977; Gnah and Harris, 1985)
	Swiss chard	<i>Streptomyces</i>	(Tyler et al., 1978a)
	Cooked/fresh sweet corn	Actinomycetes	(Flath et al., 1978; Buttery et al., 1994)

Table 2 Plant materials and specific microorganisms associated with the earthy/musty odors emitted by geosmin.
(Geosmin在植物材料和特定的微生物与发出的泥土/霉味气味相关联。)

04 GSM分子的产生（来源）---植物体

Plant products	Red beets (<i>Beta vulgaris</i>)	<i>Steril conditions</i>	(无菌条件)
	Red beet (<i>Beta vulgaris</i>)	<i>Streptomyces</i> sp.	(链霉菌属)
	Pome fruits (apples, pears, and cherries), oilseed crops	<i>Penicillium expansum</i>	(展青霉)
	Grapes	<i>Penicillium expansum, Botrytis cinerea</i>	(展青霉), (灰葡萄孢)
	Peas	<i>Streptomyces griseus, Streptomyces odorifer</i>	(灰色链霉菌, 气味链霉菌)
	Potatoes	<i>Streptomyces</i> sp.	(链霉菌属)
	Cereal grains	<i>Streptomyces</i> sp.	(链霉菌属)
	Cooked beets (<i>Beta vulgaris</i>)	Undefined	(未明确)
	Beet sugar	Actinomycetes, <i>streptomyces</i> sp.	(放线菌属, 链霉菌属)
	Grain sorghum 高粱作物	<i>Rhizopertha dominica</i>	(谷蠹)
	Canned mushrooms	Undefined	(未明确)
	Vegetables, nuts, cheese	<i>Penicillium discolor, Penicillium echinulatum</i>	(变色青霉菌, 棘刺青霉菌)
	Dry beans (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	<i>Streptomyces</i> sp.	(链霉菌属)
	Swiss chard	<i>Streptomyces</i>	(链霉菌属)
	Cooked/fresh sweet corn	Actinomycetes	(放线菌属)

04 GSM分子的产生（来源）---饮品

Table 3
Processed beverages and specific microorganisms associated with the earthy/musty odors emitted by geosmin.

Beverages	Red wine	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	(Lisanti et al., 2014)
	Wines	<i>Penicillium expansum</i> , <i>Botrytis cinerea</i>	(Darriet et al., 2000; Weingart et al., 2010)
	Rice Wine	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	(Chen et al., 2013)
	Chinese Liquors	<i>Streptomyces</i> sp.	(Du et al., 2011; Du and Xu, 2012)
	Beet Juice	Actinomycetes	(Acree et al., 1976; Tyler et al., 1978b; Tyler et al., 1979)
	Grape juice	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Penicillium expansum</i>	(La Guerche et al., 2007; Morales-Valle et al., 2010)
	Apple juice	<i>Streptomyces griseus</i> , <i>Bacillus acidocaldarius</i> , <i>Alicyclo-bacillus</i>	(Bagheri et al., 2007; Siegmund and Pöllinger-Zierler, 2007)
	Green Mexican coffee	<i>Streptomyces</i> spp, <i>Pseudomonas</i> spp.	(Cantergiani et al., 2001)
	Soybean meal NZ-amine medium	<i>Streptomyces griseus</i> LP-16, <i>Streptomyces griseoluteus</i> , <i>S. odorifer</i> (IMRU 3334), <i>S. fradiae</i> (IMRU 3535, IMRU 3535-R7), <i>S. antibioticus</i> (IMRU 3720, IMRU 3491)	(Gerber, 1967; Gerber and Lechevalier, 1977)

Table 3 Processed beverages and specific microorganisms associated with the earthy/musty odors emitted by geosmin.
(Geosmin在加工饮品和特定的微生物与发出的泥土/霉味气味相关联。)

04 GSM分子的产生（来源）---饮品

Beverages	Red wine	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> （酿酒酵母）
	Wines	<i>Penicillium expansum</i> , <i>Botrytis cinerea</i> （展青霉），（灰葡萄孢菌）
	Rice Wine	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> （酿酒酵母）
	Chinese Liquors	<i>Streptomyces</i> sp.（链霉菌）
	Beet Juice	<i>Actinomycetes</i> （放线菌）
	Grape juice	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Penicillium expansum</i> （灰葡萄孢菌），（展青霉）
	Apple juice	<i>Streptomyces griseus</i> , <i>Bacillus acidocaldarius</i> , <i>Alicyclo-bacillus</i> （灰色链霉菌，嗜酸芽孢杆菌，脂环芽孢杆菌）
	Green Mexican coffee	<i>Streptomyces</i> spp, <i>Pseudomonas</i> spp.（链霉菌属），（假单胞菌属）
	Soybean meal NZ-amine medium	<i>Streptomyces griseus</i> LP-16, <i>Streptomyces griseoluteus</i> , <i>S. odorifer</i> (IMRU 3334), <i>S. fradiae</i> (IMRU 3535, IMRU 3535-R7), <i>S. antibioticus</i> (IMRU 3720, IMRU 3491)

（大豆粉NZ-胺介质）

（灰色链霉菌，玫瑰藤黄链霉菌，气味链霉菌，抗生素抗菌素）

04 GSM分子的产生（来源）---水产

Table 4

Fish products and other media with specific microorganisms associated with the earthy/musty odors emitted by geosmin.

Fish products	Fish, <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Undefined	(Petersen et al., 2011)
	Salmon fillets	Ctinomycetes, fungi, blue-green algae	(Ruan et al., 2013)
	<i>Onchorhynchus mykiss</i> , <i>Ictalurus punctatus</i>	Cyanobacteria, actinomycetes	(Robertson et al., 2005)
	Sevielleta LTER, New Me xico, USA	<i>L eptolyngbya sp.</i>	(Payne et al., 2001)
Other	MDI liquid medium	Basidiobolus ranarum	(Trowitzsch et al., 1981)
	Laboratory bioreactor	<i>Streptomyces citreus</i> CBS109.60	(Pollak and Berger, 1996)
	Mycelial soil bacteria	<i>Streptomyces coelicolor</i> A3	(Gust et al., 2003)
	Soil	<i>Streptomyces coelicolor</i> A3, <i>Streptomyces avermitilis</i> sp	(Jiang et al., 2007)

Table 4 Fish products and other media with specific microorganisms associated with the earthy/musty odors emitted by geosmin. (鱼产品和其他特定微生物介质，与geosmin发出的泥土/霉味气味相关。)

04 GSM分子的产生（来源）---水产及其他介质

Fish products	Fish, <i>Oncorhynchus mykiss</i> Salmon fillets <i>Oncorhynchus mykiss</i> , <i>Ictalurus punctatus</i> Sevielleta LTER, New Mexico, USA	Undefined Actinomycetes, fungi, blue-green algae Cyanobacteria, actinomycetes <i>Leptolyngbya</i> sp.
Other	MDI liquid medium Laboratory bioreactor Mycelial soil bacteria Soil	<i>Basidiobolus ranarum</i> <i>Streptomyces citreus</i> CBS109.60 <i>Streptomyces coelicolor</i> A3 <i>Streptomyces coelicolor</i> A3, <i>Streptomyces avermitilis</i> sp

水产, *Oncorhynchus mykiss* (大马哈鱼/虹鳟) **Undefined (未明确)** ;
Salmon fillets (三文鱼) **Actinomycetes, fungi, blue-green algae (放线菌, 真菌, 蓝绿藻)** ;
Oncorhynchus mykiss, *Ictalurus punctatus* (大马哈鱼, 斑点叉尾鲴) **Cyanobacteria, actinomycetes (蓝细菌, 放线菌)**
Sevielleta LTER (长期生态研究), New Mexico, USA, ***Leptolyngbya* sp. (鞘丝藻属)**
其他, MDI liquid medium (MDI液体培养基), ***Basidiobolus ranarum* (蛙粪霉属)**
Laboratory bioreactor (实验室生物反应器) ***Streptomyces citreus* (香草链霉菌)**
Mycelial soil bacteria (菌丝体细菌) ***Streptomyces coelicolor* A3 (链霉菌coelicolor A3)**
Soil (土壤) ***Streptomyces coelicolor* A3, *Streptomyces avermitilis* sp (天蓝色链霉菌A3, 阿维链霉菌sp)**

—— 05 GSM分子的破坏与排除 —— 

05 GSM分子的破坏与排除

在食品加工过程中，传统的处理方式去除GSM的能力较低或无效。

据统计，美国每年有大约30%因为土腥异味造成的水产损失（特别是鲱鱼，鲤鱼和鲑鱼）和蛤蜊。

消除这些海产品令人不愉快的泥土/霉味的最流行的方法是用柠檬进食或烹饪。在酸性溶液中将GSM转化成基本上无味的产物。

在Hsieh等人的研究中，观察到pH变化对GSM去除的影响。研究表明，在pH 5.0~10.0的水溶液中，GSM的浓度保持稳定。而当pH值为2.8时，GSM浓度仅为pH6.3时的69%。



05 GSM分子的破坏与排除

去除GSM分子最有效的方法之一是通过活性炭的吸附。该方法成功地将浓度降低到阈值气味浓度以下。今天，活性炭是消除口味和气味的最常用方法，尽管GSM中活性炭的有效性低于其它味道和气味生成有机物。

此外，其他氧化剂的存在可显著进一步降低其有效性。（表5-10）。至于其他GSM去除方法，如膜过滤，沉淀或生物降解，效果较差。



05 GSM分子的破坏与排除

Table 5

Active oxygen based methods used for geosmin removal. (基于活性氧去除 geosmin 的方法。)

Table 5
Active oxygen based methods used for geosmin removal.

Units of measurement, (mg L ⁻¹)	Object of contamination	Geosmin elimination, (ng*L ⁻¹)	Effectiveness, %	Reference
O ₃ (1.5 mg L ⁻¹)	Surface waters	50	95	(Westerhoff et al., 2006)
O ₃ (7 mg L ⁻¹)	Surface waters	–	95	(Lundgren et al., 1988)
O ₃ (4 mg L ⁻¹)	Olrado river	–	89	(Glaze et al., 1990)
O ₃ (2 mg L ⁻¹)	California surface water	16	35	(Glaze et al., 1990)
O ₃ (4 mg L ⁻¹)	California surface water	16	99	(Glaze et al., 1990)
O ₃ (4 mg L ⁻¹)	Surface water	–	90	(Ferguson et al., 1990)
O ₃ (8 mg L ⁻¹)	Organic free water	120	30	(Lalezary et al., 1986; Ho et al., 2002)
O ₃ (2 mg L ⁻¹)	Natural waters	–	75	(Terashima, 1988)
O ₃ (5 mg L ⁻¹)	Natural waters	–	100	(Terashima, 1988)
O ₃ (10 mg L ⁻¹)	Myponga Reservoir, Australia	100	55	(Ho et al., 2002)
O ₃ (2 mg L ⁻¹)	Myponga Reservoir, Australia	100	82	(Ho et al., 2002)
O ₃ (5 mg L ⁻¹)	Myponga Reservoir, Australia	100	98	(Ho et al., 2002)
O ₃ (2 mg L ⁻¹) + t(22.5 °C)	Yodo River, Japan	68	99	(Mizuno et al., 2011)
O ₃ (4 mg L ⁻¹) + t(22.5 °C)	Yodo River, Japan	442	79	(Mizuno et al., 2011)
O ₃ (2 mg L ⁻¹) + H ₂ O ₂ (1 mg L ⁻¹)	Surface water	–	90	(Ferguson et al., 1990)
O ₃ (1 mg L ⁻¹) + H ₂ O ₂ (0.3 mg L ⁻¹) + t(3 °C)	WTP, Korea.	150	96	(Park et al., 2007)
O ₃ (2 mg L ⁻¹) + H ₂ O ₂ (0.3 mg L ⁻¹) + t(3 °C)	WTP, Korea.	150	100	(Park et al., 2007)
O ₃ (1 mg L ⁻¹) + H ₂ O ₂ (0.3 mg L ⁻¹) + t(25 °C)	WTP, Korea.	117	100	(Park et al., 2007)
O ₃ (2 mg L ⁻¹) + H ₂ O ₂ (0.3 mg L ⁻¹) + t(25 °C)	WTP, Korea, Korea.	117	100	(Park et al., 2007)
O ₃ (2 mg L ⁻¹) + H ₂ O ₂ (1.5 mg L ⁻¹) + t(18.5 °C)	Yodo River, Japan	515	80	(Mizuno et al., 2011)
O ₃ (0.2 mg L ⁻¹) + H ₂ O ₂ (0.1 mg L ⁻¹) + t(22.5 °C)	WTP, USA	100	95	(Glaze et al., 1990)
O ₃ (0.2 mg L ⁻¹) + H ₂ O ₂ (0.2 mg L ⁻¹) + t(22.5 °C)	WTP, USA	100	81	(Glaze et al., 1990)
O ₃ (0.2 mg L ⁻¹) + UV(0.19 W*L ⁻¹)	WTP, USA	100	87	(Glaze et al., 1990)
O ₃ (0.2 mg L ⁻¹) + UV(0.56 W*L ⁻¹)	WTP, USA	100	99	(Glaze et al., 1990)
O ₃ (1.5 mg L ⁻¹) + UV(6 kJ m ⁻²)	Surface water	–	99	(Collivignarelli and Sorlini, 2004)
O ₃ (3 mg L ⁻¹) + UV(6 kJ m ⁻²)	Surface water	–	99	(Collivignarelli and Sorlini, 2004)

GSM分子可能与臭氧分解过程中产生的游离羟基自由基反应，臭氧化过程能有效地破坏GSM。

缺点：需要注意水中溴离子浓度在臭氧化过程中形成致癌溴酸根 (BrO₃)；臭氧化也可能受到溶解的有机物质的影响，导致GSM的不完全氧化

05 GSM分子的破坏与排除

Table 6
Active chlorine based methods used for geosmin removal. (基于活性氯去除 geosmin 的方法。)

Table 6
Active chlorine based methods used for geosmin removal.

Units of measurement, (mg L ⁻¹)	Object of contamination	Geosmin elimination (ng*L ⁻¹)	Effectiveness, %	Reference
Cl ₂ (0,5 mg L ⁻¹)	WTP,Taiwan	50	10	(Lin et al., 2003)
Cl ₂ (1 mg L ⁻¹)	WTP,Taiwan	50	74	(Lin et al., 2003)
Cl ₂ (0.7 mg L ⁻¹)	Amsa WTP, Korea	11.1	28	(Kim, 2015)
Cl ₂ (1 mg L ⁻¹)	Amsa WTP, Korea	11.1	57	(Kim, 2015)
Cl ₂ (0.7 mg L ⁻¹)	Amsa WTP, Korea	50.9	70	(Kim, 2015)
Cl ₂ (1 mg L ⁻¹)	Amsa WTP, Korea	50.9	89	(Kim, 2015)
Cl ₂ (0,5 mg L ⁻¹)	WTP,Taiwan	8000	-12.5	(Lin et al., 2003)
Cl ₂ (20 mg L ⁻¹)	WTP, USA	120	25	(Lalezary et al., 1986)
Cl ₂ O (4 mg L ⁻¹)	WTP, USA	120	60	(Lalezary et al., 1986)
Cl ₂ O (20 mg L ⁻¹)	WTP, USA	100	16	(Glaze et al., 1990)
HClO (5 mg L ⁻¹)	WTP, USA	100	17	(Glaze et al., 1990)

氯化是通过氧化和破坏GSM分子除臭的一种方法。氯化作用的方式主要是基于GSM叔醇结构的分解。

缺点：常规的水的氯化处理方法通常对单独破坏和/或去除 geosmin 无效；此外，还可能导致产生不想要的气味或改变目标化合物的气味特征。

05 GSM分子的破坏与排除

Table 7

Hydrogen peroxide based methods used for geosmin removal. (基于过氧化氢去除 geosmin 的方法。)

Table 7
Hydrogen peroxide based methods used for geosmin removal.

Units of measurement, (mg L ⁻¹)	Object of contamination	Geosmin elimination (ng*L ⁻¹)	Effectiveness, %	Reference
H ₂ O ₂ (0.25 mg L ⁻¹)	WTP, USA	100	31	(Glaze et al., 1990)
H ₂ O ₂ (0.2 mg L ⁻¹) + UV(0.56 W L ⁻¹)	WTP, USA	100	40	(Glaze et al., 1990)
H ₂ O ₂ (2 mg L ⁻¹) + UV(10 kJ m ⁻²)	—	—	99	(Linden et al., 2002)
H ₂ O ₂ (2 mg L ⁻¹) + UV(3 kJ m ⁻²)	—	—	99	(Linden et al., 2002)
H ₂ O ₂ (5.5 mg L ⁻¹) + UV(11 kJ m ⁻²)	—	—	100	(Modifi et al., 2002)
H ₂ O ₂ (5.5 mg L ⁻¹) + UV(270 J m ⁻²)	—	—	46	(Modifi et al., 2002)
H ₂ O ₂ (2 mg L ⁻¹) + UV(Low Pressure1J cm ⁻²)	WTP, USA	10	70	(Rosenfeldt et al., 2005)
H ₂ O ₂ (7.5 mg L ⁻¹) + UV(Low Pressure1J cm ⁻²)	WTP, USA	10	70	(Rosenfeldt et al., 2005)
H ₂ O ₂ (2 mg L ⁻¹) + UV(Medium Pressure1kJ cm ⁻²)	WTP, USA	10	70	(Rosenfeldt et al., 2005)
H ₂ O ₂ (7.5 mg L ⁻¹) + UV(Medium Pressure 1 kJ cm ⁻²)	WTP, USA	10	70	(Rosenfeldt et al., 2005)
H ₂ O ₂ (6 mg L ⁻¹) + UV(1.2 J m ⁻²)	Drinking water	100	90	(Jo et al., 2011)

与臭氧化类似方式类似，缺点也同样类似。

05 GSM分子的破坏与排除

Table 8
Permanganate, zeolite and sonication based methods used for geosmin removal. (基于高锰酸盐, 沸石, 声波降解去除geosmin的方法。)

Table 8
Permanganate, zeolite and sonication based methods used for geosmin removal.

Units of measurement, (mg L ⁻¹)	Object of contamination	Geosmin elimination (ng*L ⁻¹)	Effectiveness, %	Reference
KMnO ₄ (3 mg L ⁻¹)	WTP, USA	100	15	(Glaze et al., 1990)
KMnO ₄ (20 mg L ⁻¹)	WTP, USA	120	10	(Lalezary et al., 1986)
Na ₂ CO ₃ ·1.5H ₂ O ₂ (55 kg ha ⁻¹)	Mississippi pond, USA	–	99	(Martin, 1992)
US-Y zeolite (200 mg L ⁻¹)	Murrumbidgee River, Australia	96	98	(Ellis and Korth, 1993)
US-Y zeolite (150 mg L ⁻¹)	Murrumbidgee River, Australia	96	98	(Ellis and Korth, 1993)
US-Y zeolite (100 mg L ⁻¹)	Murrumbidgee River, Australia	96	94	(Ellis and Korth, 1993)
US-Y zeolite (10 mg L ⁻¹)	Murrumbidgee River, Australia	96	84	(Ellis and Korth, 1993)
AC (100 mg L ⁻¹)	Murrumbidgee River, Australia	96	98	(Ellis and Korth, 1993)
AC (10 mg L ⁻¹)	Murrumbidgee River, Australia	96	77	(Ellis and Korth, 1993)
AC (100 mg L ⁻¹) + Humic acid(5 mg L ⁻¹)	Murrumbidgee River, Australia	96	98	(Ellis and Korth, 1993)
AC (10 mg L ⁻¹) + Humic acid(5 mg L ⁻¹)	Murrumbidgee River, Australia	96	42	(Ellis and Korth, 1993)
AC (0.1 mg L ⁻¹)	Pure water	100	99	(Zoschke et al., 2011)
AC (2.7 mg L ⁻¹)	Reservoir water	100	99	(Zoschke et al., 2011)
AC (1.8 mg L ⁻¹)	Pre-treated water	100	99	(Zoschke et al., 2011)
Powered AC (3 mg L ⁻¹)	WTP, South Korea	1700	48	(Choi et al., 2014)
Membrane filtration (flux 60–107 LMH) + Powered AC (3 mg L ⁻¹)	WTP, South Korea	1700	51	(Choi et al., 2014)
Granulated AC (450 g L ⁻¹)	WTP, South Korea	1700	99	(Choi et al., 2014)
Biodegradation (1 × 10 ⁵ ml ⁻¹)	Morgan WTP, Australia	200	99	(Ho et al., 2007)
Biodegradation (1 × 10 ⁵ ml ⁻¹)	Morgan WTP, Australia	50	99	(Ho et al., 2007)
Biodegradation (1 × 10 ³ ml ⁻¹)	Morgan WTP, Australia	200	99	(Ho et al., 2007)
Sedimentation	WTP, South Korea	1700	13	(Choi et al., 2014)
Sonication (200 kHz)	Under air atmosphere	33	81	(Yoo et al., 1995)
Sonication (640 kHz)	WTP, USA	10	99	(Song and O'Shea, 2007)
Sonication (200 kHz) + t-BuOH (0.3 mM)	Drinking water	3.3	40	(Yoo et al., 1995)
Sonication (200 kHz) + t-BuOH (3.3 mM)	Drinking water	3.3	60	(Yoo et al., 1995)
Sonication (640 kHz) + t-BuOH (1 ppm)	WTP, USA	10	90	(Song and O'Shea, 2007)

05 GSM分子的破坏与排除

Table 9

UV-based methods used for geosmin removal. (基于紫外线法去除geosmin的方法。)

Table 9
UV-based methods used for geosmin removal.

Wave length, nm	Object of contamination	Geosmin elimination (ng*L ⁻¹)	Effectiveness, %	Reference
UV (365 nm)	Aqueous solution	10,000	86.3	(Bamuza-Pemu and Chirwa, 2012)
UV (365 nm)	Aqueous solution	500	86.4	(Bamuza-Pemu and Chirwa, 2012)
UV (365 nm)	Aqueous solution	220	86.9	(Bamuza-Pemu and Chirwa, 2012)
UV(101 kJ m ⁻²)	Pretreated natural water	—	97	(Modifi et al., 2002)
UV(26 kJ m ⁻²)	Pretreated natural water	—	28	(Modifi et al., 2002)
UV(219 nM)+PDS(10 μM)	WTP, China.	40	94.5	(Xie et al., 2015)
UV(365 nm)+TiO ₂ (4 mg)+BuOH(0.1 mol L ⁻¹)	Aqueous solution	10,000	94.2	(Bamuza-Pemu and Chirwa, 2012)
UV(400 nm)+TiO ₂ (0.25 mg cm ⁻²)+pH(4.7)+DO(7 mg L ⁻¹)	Prepared solution	112	80	(Pettit et al., 2014)
UV(400 nm)+TiO ₂ (0.25 mg cm ⁻²)+pH(5.3)+DO(8.3 mg L ⁻¹)	Prepared solution with air	112	81	(Pettit et al., 2014)
UV(400 nm)+TiO ₂ (0.25 mg cm ⁻²)+pH(7.2)+DO(9.1 mg L ⁻¹)	WTP, USA	50	60	(Pettit et al., 2014)
UV(400 nm)+TiO ₂ (4 mg)	Aquaculture water, Jade Perch	100	5	(Wee et al., 2015)
UV(400 nm)+TiO ₂ (4 mg) + USY zeolite (6 mg L ⁻¹)	Aquaculture water, Jade Perch	100	99	(Wee et al., 2015)
UV(365 nm)+TiO ₂ (4 mg)	Aqueous solution	10,000	99.6	(Bamuza-Pemu and Chirwa, 2012)
UV(365 nm)+TiO ₂ (4 mg)	Aqueous solution	500	92.3	(Bamuza-Pemu and Chirwa, 2012)
UV(365 nm)+TiO ₂ (4 mg)	Aqueous solution	220	95.8	(Bamuza-Pemu and Chirwa, 2012)
UV(400 nm)+US-Yzeolite coating(6 mg L ⁻¹)	Aquaculture water, Jade Perch	100	60	(Wee et al., 2015)
UV(400 nm)+US-Yzeolite powder (30 mg L ⁻¹)	Aquaculture water, Jade Perch	100	99	(Wee et al., 2015)
UV(356 nm)+TiO ₂ /RuO ₂ (10 mA cm ⁻²)+Na ₂ SO ₄ (0.05 g L ⁻¹)+pH(4)	Aqueous solution	—	89	(de Freitas et al., 2011)
UV(356 nm)+TiO ₂ /RuO ₂ (30 mA cm ⁻²)+Na ₂ SO ₄ (0.05 g L ⁻¹)+pH(4)	Aqueous solution	—	93	(de Freitas et al., 2011)
UV(356 nm)+TiO ₂ /RuO ₂ (10 mA cm ⁻²)+Na ₂ SO ₄ (0.05 g L ⁻¹)+pH(8)	Aqueous solution	—	85	(de Freitas et al., 2011)
UV(356 nm)+TiO ₂ /RuO ₂ (30 mA cm ⁻²)+Na ₂ SO ₄ (0.05 g L ⁻¹)+pH(8)	Aqueous solution	—	89	(de Freitas et al., 2011)
UV(356 nm)+TiO ₂ /RuO ₂ (10 mA cm ⁻²)+NaCl(0.05 g L ⁻¹)+pH(4)	Aqueous solution	—	74	(de Freitas et al., 2011)
UV(356 nm)+TiO ₂ /RuO ₂ (30 mA cm ⁻²)+NaCl(0.05 g L ⁻¹)+pH(4)	Aqueous solution	—	75	(de Freitas et al., 2011)
UV(356 nm)+TiO ₂ /RuO ₂ (10 mA cm ⁻²)+NaCl(0.05 g L ⁻¹)+pH(8)	Aqueous solution	—	93	(de Freitas et al., 2011)
UV(356 nm)+TiO ₂ /RuO ₂ (30 mA cm ⁻²)+NaCl(0.05 g L ⁻¹)+pH(8)	Aqueous solution	—	93	(de Freitas et al., 2011)

UV辐射处理是一个氧化过程，同时提供了水的消毒和微污染物的氧化。这种方法本身对于GSM的氧化是无效的，但在高剂量时显示出显著的效率。

缺点：使用UV处理时遇到的特殊问题是形成不期望的副产物，例如亚硝酸盐。

05 GSM分子的破坏与排除

Table 10
Titanium oxide based methods used for geosmin removal. (氧化钛用于去除 geosmin 的方法。)

Table 10
Titanium oxide based methods used for geosmin removal.

Used conditions	Object of contamination	Geosmin elimination (ng·L ⁻¹)	Effectiveness, %	Reference
TiO ₂ /RuO ₂ (10 mA cm ⁻²)+Na ₂ SO ₄ (0.05 g L ⁻¹)+pH(8)	Aqueous solution	–	60	(de Freitas et al., 2011)
TiO ₂ /RuO ₂ (10 mA cm ⁻²)+NaCl(0.05 g L ⁻¹)+pH(8)	Aqueous solution	–	11	(de Freitas et al., 2011)
Ti/RuO ₂ –Pt(40 mA cm ⁻²)+ NaCl(1 g L ⁻¹)+ Na ₂ SO ₄ (0 or 0.5 gL ⁻¹)	Aqueous solution	600	91	(Li et al., 2010)
Ti/RuO ₂ –Pt(40 mA cm ⁻²)+ NaCl(3 g L ⁻¹)+ Na ₂ SO ₄ (0 or 0.5 gL ⁻¹)	Aqueous solution	600	99	(Li et al., 2010)
Ti/RuO ₂ –Pt(40 mA cm ⁻²)+ NaCl(5 g L ⁻¹)+ Na ₂ SO ₄ (0 or 0.5 gL ⁻¹)	Aqueous solution	600	99.5	(Li et al., 2010)
Ti/Ir O ₂ (or /RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(1 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 gL ⁻¹)	Aqueous solution	600	90	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or/RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(3 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 gL ⁻¹)	Aqueous solution	600	98	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or/RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(5 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 gL ⁻¹)	Aqueous solution	600	99	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or/RuO ₂)–Pt(20 mA cm ⁻²)+NaCl(5 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 gL ⁻¹)	Aqueous solution	600	97	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or/RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(5 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 g L ⁻¹)	Aqueous solution	600	98	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or/RuO ₂)–Pt(60 mA cm ⁻²)+NaCl(5 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 g L ⁻¹)	Aqueous solution	600	100	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or/RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(3 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 g L ⁻¹)+ 60(min)	Aqueous solution	1200	99	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or/RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(3 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 g L ⁻¹)+ 60(min)	Aqueous solution	600	99	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(3 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 g L ⁻¹)+ 60(min)	Aqueous solution	300	98	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(3 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 g L ⁻¹)+ 60(min)	Aqueous solution	60	95	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(3 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 g L ⁻¹)+ pH(3)	Aqueous solution	600	98	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(3 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 g L ⁻¹)+ pH(6)	Aqueous solution	600	98	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)
Ti/Ir O ₂ (or RuO ₂)–Pt(40 mA cm ⁻²)+NaCl(3 g L ⁻¹)+Na ₂ SO ₄ (0.5 g L ⁻¹)+ pH(11)	Aqueous solution	600	98	(Li et al., 2010; Xue et al., 2011)

金属催化剂 (TiO₂) 的活化会氧化有机化合物。

电化学方法被证明在芳香族化合物降解中有效，包括许多有机物质。该方法由Ti涂层电极（阳极）与IrO₂掺杂并掺杂Pt (Ti / IrO₂ -Pt) 组成。这种类型已广泛用于污染水的电化学处理。阳极催化水电解产生吸附有害物质的羟基自由基。

05 GSM分子的破坏与排除---结论

1、从经济和过程操作的角度考虑，氧化目前来说是最为适合的。氧化剂在特定的应用条件下作用不同，尽管顺序显示氧化剂的氧化能力有些许不同：

$\text{ClO}_2 > \text{MnO}_2 (\text{s}) > \text{Cl}_2 > \text{KMnO}_4$ 。

2、催化剂如 TiO_2 和其他物理化学屏障（如紫外线辐射或超声波）的应用增加了处理效果但同时增加了所需的附加设备以及特定条件。

3、电化学降解成功地证明了高效除去Geosmin不需要太多的经济和技术设备。这种技术可以用于液体和固体食品的GSM去除。

4、GSM去除的最后一个特点，不同处理的组合比一个处理单独的处理更有效，这归功于不同破坏方式之间的协同作用。

05 GSM分子的破坏与排除---结论

被Geosmin污染的产品的气味是食品和水处理行业的重要问题。途径形成的多样性促使了研究人员去发现更简单的方法来去除这个顽固分子。

广泛使用的处理方法通常设计用于饮用水等液体。而从固体产物，如甜菜与粮食中去除仍然没有开发出有效的处理方法。





Thank You

李岚宇
2017年5月14日