

SO₂ 水合物诱发蚕豆 (*Vicia faba*) 根尖细胞染色体畸变效应

仪慧兰, 姜 林

(山西大学生命科学与技术学院, 太原 030006)

摘要 :以蚕豆为材料,研究 SO₂ 水合物-亚硫酸钠与亚硫酸氢钠混合液 (3:1, mmol·L⁻¹/mmol·L⁻¹)对根尖细胞的遗传毒效应。结果表明 SO₂ 水合物处理可诱发蚕豆根尖细胞遗传不稳定,出现染色体数目和结构变异,使非整倍体和染色体结构异常明显增加。中期染色体出现了缺失、断片、环(染色体和染色单体环)、易位、双着丝粒等异常;在细胞分裂后期出现了滞后染色体、桥和断片等异常。研究结果表明 SO₂ 是 DNA 分子断裂剂、非整倍体诱变剂,能够破坏生物细胞的基因组稳定性,是一种具有遗传毒性的环境诱变剂。

关键词 SO₂ 水合物;蚕豆;染色体畸变

文章编号:1000-0933(2007)06-2318-07 中图分类号:Q142.Q945.Q948 文献标识码:A

Chromosomal aberrations induced by sulfur dioxide hydrates in *Vicia faba* root tips

YI Hui-Lan, JIANG Lin

College of Life Science and Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2318 ~ 2324.

Abstract : Sulfur dioxide (SO₂) is a common air pollutant, which could inhibit plant growth, influence photosynthesis, and injure micro molecular in plant cells. For this reason, the chromosomal aberrations induced by hydrates of SO₂—sodium bisulfite and sodium sulfite mixture (3:1, mmol·L⁻¹/mmol·L⁻¹) were investigated in *Vicia faba* (broad bean) root tips.

Dry broad bean seeds were soaked for 24 h in distilled water at 23°C and allowed to germinate between two layers of moist cotton. When the newly emerged roots were of 1.00—2.00 cm in length, they were used in the test. The negative control was incubated in distilled water. Bisulfite groups were exposed to bisulfite-sulfite solutions for 12 and 24 h respectively, in the range of 0.20—15.00 mmol/L. For chromosomal aberration assay, the roots were incubated in 0.05% colchicine for 5 h, then fixed in 1:3 (V/V) aceto-ethanol solutions. They were digested in the solution of 2.5% cellulase and pectinase, and harvested as cell suspensions. The cell suspensions were dropped on slides to make chromosomal samples. After staining with Giemsa solution, aberrations of chromosomal structure and number were examined through microscopy. For anaphase aberration assay, *Vicia* roots were soaked in the fixative directly after treatment. When slides prepared for microscopic examination, the roots were hydrolyzed in 1 mmol/L HCl and stained with Schiff reagent, and then mitotic zone from well-stained root tip were immersed on a clean slide and squashed under a cover glass.

Present results showed that sulfur dioxide hydrates caused aberrations of chromosomal structure and number.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30470318);山西省自然科学基金资助项目(20041080)

收稿日期:2006-05-08;修订日期:2007-02-01

作者简介:仪慧兰(1963~),女,山西人,博士,教授,主要从事环境毒理学研究。E-mail:yihuilan@yahoo.com.cn

Foundation item :The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30470318), Provincial Natural Science Foundation of Shanxi Province (No. 20041080)

Received date 2006-05-08 ; **Accepted date** 2007-02-01

Biography :YI Hui-Lan, Ph. D., Professor, mainly engaged in environmental toxicology. E-mail:yihuilan@yahoo.com.cn

Frequencies of chromosomal structure aberrations , both chromatid-type aberrations and chromosome-type aberrations , increased significantly as well as aneuploid after seedlings exposed to sulfur hydrates over a range of 0.20 to 15.0 mmol/L. Deletions , fragments and other complex aberrations , such as rings (chromatid and chromosome) , dicentrics and translocation , were found on metaphase slides after *Vicia* roots exposed to the hydrates , while abnormal chromosome behavior including lagging , bridge and fragment appeared during division. These results indicated that SO₂ hydrates induced chromosomal breakage and inappropriate chromosome fuse in *V. faba* root tip cells , which destabilize the orderly transmission of genetic information to the next generation of cells , and lead to the destroy of genetic stability and genome instability. Results of the present study suggest that SO₂ is one of the mutagenic and clastogenic agents in the environments.

Key Words : SO₂ hydrate ; *Vicia faba* ; chromosomal aberration

二氧化硫 (SO₂) 是一种常见的全球性大气污染物 , 主要来源于含硫矿物的燃烧。我国是以煤炭为主要能源的国家之一 , 燃煤过程中释放了大量的 SO₂ , 是大气污染和酸雨增加的主要原因。

硫是维持生命活动的必要元素 , 植物可从土壤中摄取硫 , 也可通过叶片吸收大气中的 SO₂。SO₂ 进入细胞后迅速与其中的水分子作用 , 转化为 SO₃²⁻ 和 HSO₃⁻ , 之后一部分 SO₃²⁻ 被氧化为 SO₄²⁻ , SO₄²⁻ 和 SO₃²⁻ 用于胱氨酸的合成^[1]。

根据同位素³⁵S 标记实验结果 , 大气中的 SO₂ 被植物叶片吸收后 , 90% 以上转化成亚硫酸根和硫酸根离子 , 仅有少量被还原为有机硫化化合物 , 如胱氨酸、半胱氨酸、辅酶 A 等。因此 , SO₂ 污染的毒作用是由于植物细胞中积累了大量的 SO₂ 水合物所致。细胞中半胱氨酸合成酶过量表达能提高植物对 SO₂ 的耐受性^[2] , 也说明 SO₂ 的毒作用来自于细胞中过量的亚硫酸根。

研究发现 , 环境 SO₂ 污染能够造成植物叶片失绿或坏死 , 影响光合作用和呼吸过程 , 从而影响植物的生长发育。但是 , SO₂ 的毒害机制尚未搞清。前期的研究结果表明 , 高浓度 SO₂ 及其水合物能抑制植物生长发育 , 阻滞细胞进入分裂态 , 延缓细胞周期 , 并能诱发植物根尖细胞微核显著增加 , 出现核固缩细胞^[3~6]。在此基础上 , 本论文采用国际上公认的染色体畸变检测技术^[7~9] , 根据 SO₂ 在中性条件下以亚硫酸根和亚硫酸氢根分子比 3:1 存在的实际情况^[10,11] , 研究 SO₂ 对蚕豆体细胞染色体的畸变效应 , 为揭示 SO₂ 对植物毒性作用的分子机理提供证据。

1 材料与方法

1.1 材料

蚕豆 (*Vicia faba* L.) , 以青皮豆作为实验材料。

1.2 实验方法

1.2.1 幼苗培养

参照 Kanaya 等的方法^[12] , 蚕豆种子于 23℃ 蒸馏水中浸泡 24 h , 湿纱布包裹催芽 24 h。选萌发的蚕豆放入垫有湿脱脂棉的培养皿中培养。其间每 12 h 用水冲洗 3 次 , 换水培养。根长 1 ~ 1.5 cm 时切去主根尖 , 待侧根长度 1 ~ 2 cm 时用于毒性试验。

1.2.2 药物处理

选根长整齐一致的蚕豆幼苗随机分组。蒸馏水作阴性对照。NaHSO₃-Na₂ SO₃ (1 : 3 , mmol · L⁻¹ / mmol · L⁻¹) 处理浓度 (以 SO₃²⁻ 浓度计) 在 0.20 ~ 15.00 mmol/L 之间。23℃ 恒温培养 , 药物处理 12 h 和 24 h , 12 h 换一次新处理液。

1.2.3 染色体核型分析

药物处理 12 h 和 24 h 后 , 切取根尖 , 于 0.05% 秋水仙素溶液中浸泡 5 h , 卡诺氏液固定 24 h , 转入 70% 的乙醇中 , 4℃ 保存。制备染色体标本时^[13,14] , 切取根尖分生区 , 在 2.5% 的纤维素酶和果胶酶混合酶液中

(25℃)解离 4~5 h,蒸馏水中低渗 30~50 min,捣碎根尖组织,加适量固定液制成细胞悬液,冷冻片滴片,火焰干燥。待载片风干后,5%的 Giemsa 染液染色 15 min,水冲洗,风干,显微镜下 (OLYMPUS, 1000×)观察分析。每个处理观察 100 个以上分散良好的分裂中期相。

1.2.4 染色体行为观察

取药物处理 24 h 的根尖,卡诺氏液固定后转入 70% 乙醇中 4℃ 保存。制片时,采用 Feulgen 法染色^[3],常规压片后镜检。每个处理观察 5 个根尖,每个根尖约 1000 个细胞。

1.3 实验数据的统计分析

计算各处理组染色体异常的平均值和方差。方差分析后,采用 *t* 检验,检测不同处理组与阴性对照组之间的差异显著性。

2 结果与讨论

2.1 染色体结构和数目异常

镜检发现,SO₂水合物处理 12h 后,蚕豆根尖中期细胞出现了染色体结构和数目变异(表 1)。结构变异主要是染色单体和染色体断片、裂隙,以及少量染色体缺失和易位;异常中期相多数具有一种畸变,即异常单独发生,但两种异常亦可同时发生于一个细胞。数目变异为染色体数少于 12 条的非整倍体,主要是具有 11 条和 10 条染色体的中期相,个别为 8 或 13 条染色体,其中具 11 条染色体的中期相最多。没有发现倍性异常的中期相。非整倍体的出现,表明药物处理能干扰有丝分裂过程,使部分染色体不能正常向极运动,从而导致子细胞核染色体数目异常。双着丝粒染色体的形成会导致染色体数目减少,但因其出现率远低于 11 条染色体中期相的比例,所以不是数目异常的主要原因。由于具 11 条染色体的中期相明显多于具 13 条染色体的中期相,所以非整倍体主要是由于滞后染色体引起,而非不对等分裂引起。

SO₂水合物处理 24h 后,畸变率高于 12h 处理组,根尖中具染色体结构异常的中期相明显高于对照组,其中包括染色体型和染色单体型畸变(表 2)。除了常见的异常如染色体和染色单体断片、染色体纯合缺失与杂合缺失、裂隙等,还可以看到由染色单体或染色体错接形成的染色体/单体环、双着丝粒染色体和其它类型的染色体易位(图 1)。

统计结果显示,药物处理组的中期染色体总畸变率在 34%~42% 之间,与 Ma 等^[5]在 SO₂暴露后紫露草花药细胞中检测的染色体畸变水平接近;在实验测试的浓度范围内,中期染色体异常率无明显的剂量依赖,高浓度(2.0~15.0 mmol·L⁻¹)组无明显的染色体裂隙,但断片率有所增加。

自然条件下,DNA 分子损伤(lesion)时有发生,但是因为细胞中存在多种 DNA 修复机制,能够及时修复损伤,很少出现染色体畸变。环境化学物诱发的 DNA 损伤,如能得到及时修复便不会出现异常,若不能正常修复,就可能形成染色体异常。化学物诱发的 DNA 损伤超过细胞自身的修复能力,或干扰和破坏细胞内 DNA 修复功能都可能导致染色体畸变的发生。染色体断片是由 DNA 分子断裂形成的,染色体复制前(G1 期)发生的 DNA 分子损伤如不能及时修复,经过半保留复制后会形成染色体断片,而 DNA 分子复制后(G2 期)发生的损伤效应则可能形成染色单体断片。

23℃ 蚕豆根尖分生区细胞完成一次有丝分裂的时间约为 12h,其中分裂期为时较短(1.8h),在药物处理 24h 后染色体断片多于染色单体断片,说明药物对 DNA 的损伤主要在 G1 期,或 G1 期对药物的作用更敏感,可能是药物处理干扰了 DNA 合成前的修复作用,导致损伤的修复错误或不能修复,从而出现一系列的染色体结构异常,包括断裂和断裂末端的不正确连接(错接)。

染色体断裂末端不稳定,可与原来的断裂末端重新愈合,形成与断裂前相同的染色体,断片也可能与其它的染色体断裂末端愈合,发生错接(易位),产生结构异常的染色体。环状染色体及不同形式的双着丝粒染色体的出现是染色体或染色单体断裂末端错接的结果。高浓度组染色体断裂率较高,而错接率降低,可能与高浓度处理抑制细胞内相关的 DNA 连接酶活性有关。在姊妹染色单体间形成环状结构可能是 DNA 序列重复(基因扩增)引起的,是遗传损伤的又一种表现形式。

接表 1 2

2.2 染色体行为异常

经 SO₂ 水合物处理后 ,蚕豆根尖细胞分裂过程中出现染色体行为异常 ,如染色体滞后和桥 (表 3)。此外 ,还可看到染色体黏连 ,黏连的染色体在细胞分裂各期均能看到 ,主要表现为染色体互相黏连、集结 ,难以区分相互界限。

表 3 SO₂ 水合物处理 24 h 诱发蚕豆根尖细胞染色体行为异常
Table 3 Abnormal chromosome behavior in *Vicia* roots exposed to sulfur dioxide hydrate for 24h

处 理 Treatment	浓 度 Concentration (mmol/L)	桥 Bridge (%)	滞后 Laggards (%)	总异常 Abnormal chromosome (%)
阴性对照 Negative control	0	0.16	0.45	0.61
SO ₂ 水合物 SO ₂ hydrates	0.20	0.31	0.71	1.02
	0.60	0.40	0.97 *	1.37 **
	2.00	0.38	0.84 *	1.22 **
	6.00	0.49	0.93 *	1.42 **

染色体结构异常影响了细胞分裂中染色体的行为。染色体和染色单体断片 ,在分裂后期不能正常向细胞的极点运动 ,滞留在细胞中央板附近 ;具有双着丝粒的染色体 ,在分裂后期可能受到来自两极的纺锤丝牵引 ,形成桥式结构 ,并随着分裂的进行最终导致染色体断裂 ,也有可能形成运动滞后的染色体。

结合显微镜观察结果 ,分裂后期出现染色体运动滞后的原因包括 :

- (1)没有着丝粒的染色体或染色单体断片因没有纺锤丝的牵引 ,在细胞分裂后期无法正常向细胞的两极运动 ,滞留在细胞的中央板附近 ;
- (2)药物处理导致纺锤丝不健全或缺如 ,使部分染色体不能有效向极移动 ;
- (3)由染色体错接形成的具有两个着丝粒的复杂结构 ,分裂后期难以正常分离 ,产生向极运动的滞后现象。

而染色体桥的出现可能是 :

- (1)双着丝粒染色体的两个着丝粒分别受到来自细胞两极的纺锤丝牵引 ,在两组子染色体相互分离时出现桥式结构 ;
- (2)染色体末端相互黏连引起。

运动滞后的染色体或断片 ,在一定的时限内不能到达细胞的极点 ,末期核膜重建时不能包被到子核当中 ,成为细胞中的微核 ;其中断片形成细胞中体积较小的微核 ,滞后染色体形成细胞中另一类体积较大的微核。因为部分细胞中同时存在多种染色体异常 ,如多个断片与滞后染色体同时存在 ,它们在分裂末期可能因相距较远不能包被到同一微核内 ,使细胞中出现多个微核 ,与前期微核的观察结果一致^[6] (图 1)。

研究结果不仅提供了 SO₂ 破坏 DNA 分子稳定性的直接证据 ,还发现了它对 DNA 分子损伤的敏感期 ,及其非整倍体诱变剂的特性。结合前期研究结果 ,SO₂ 能够抑制细胞分裂 ,使细胞转入固缩态从而降低细胞核的转录活性与细胞代谢活性。SO₂ 对细胞的毒性作用是全方位的 ,涉及细胞形态结构、分裂过程、代谢活性 ,以及遗传特征等多个方面 ,是一种系统性作用。

目前有关 SO₂ 对植物的毒害作用机理有两种观点^[3] ,一种观点认为 ,毒害作用主要源于一定波长光线照射时体内 SO₂ 代谢过程产生大量的活性氧 ,使叶绿体积累 H₂O₂ ,导致细胞氧化损伤。另一种观点认为 ,SO₂ 可以使 DNA 核苷酸链中的 C 氨基化 ,然后脱氧 ,形成尿苷酸 ,从而使 DNA 发生结构变异。因为本实验以蚕豆根尖为材料 ,且固定以前的操作均在暗处进行 ,所以与叶绿体活性氧损伤途径不符。有关的碱基突变假说 ,不能解释染色体数目变异 ,也难以解释本实验中高比例的染色体结构异常。在幼苗暗培养中 ,没有叶绿体的活性氧积累 ,但根尖细胞内 SO₃²⁻ 氧化为 SO₄²⁻ 的过程中会形成亚硫酸自由基、硫酸自由基和过氧硫酸自由基 ,其中

硫酸自由基和过硫酸自由基反应性极强,而且 SO₃²⁻ 可能参与脂质过氧化的启动反应^[6],使细胞产生氧化损伤。因此,本研究中的染色体畸变可能通过自由基反应和低 pH 值引起。

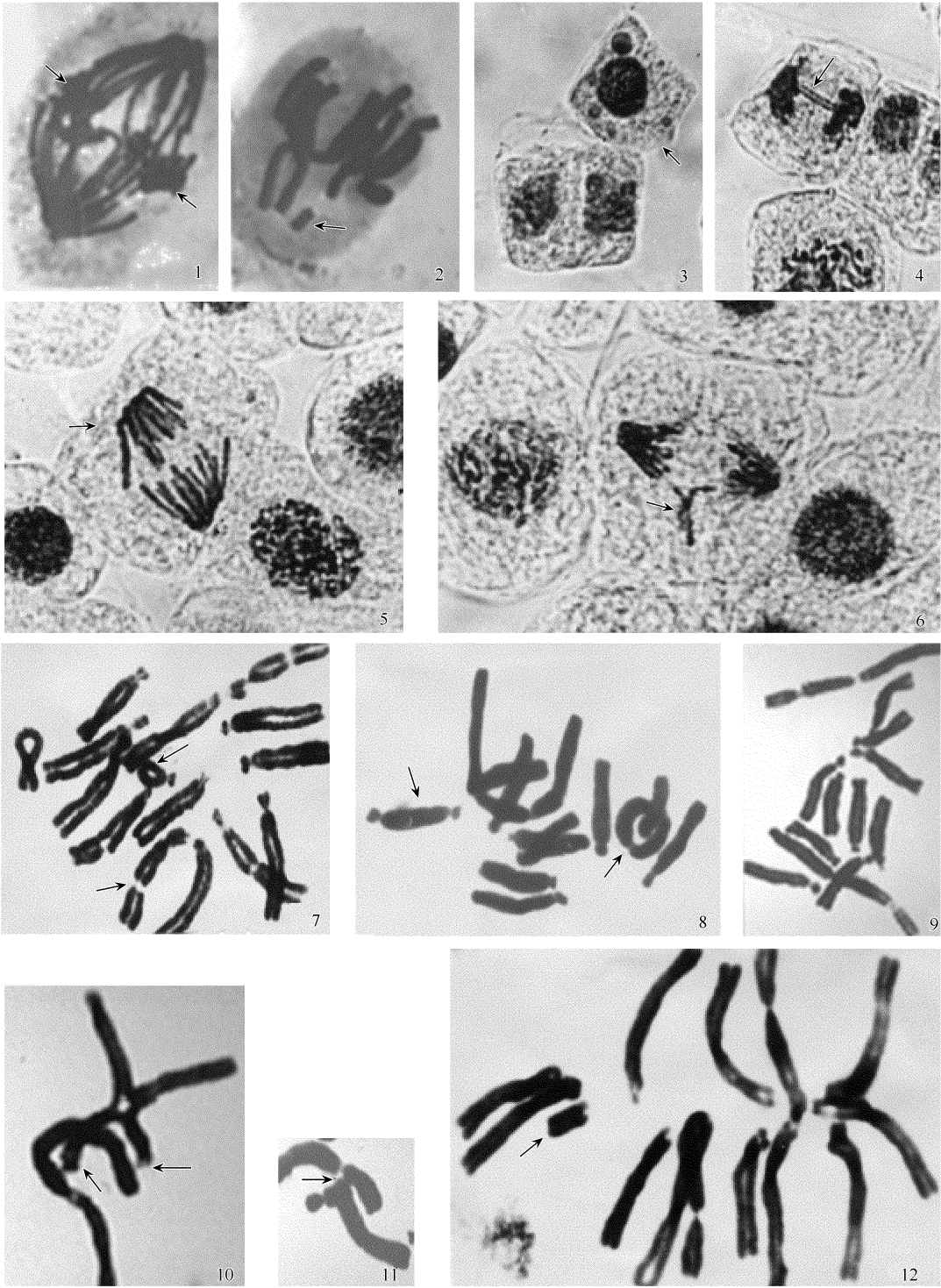


图1 SO₂水合物诱发的蚕豆根尖细胞染色体畸变

Fig. 1 Chromosomal aberrations induced by sulfur dioxide hydrates in *Vicia faba* root tips

1. 异常后期 Abnormal anaphase ;2. 断片 Chromosomal fragment ;3. 微核细胞 Micronuclei ;4. 染色体桥 Chromosomal bridge ;5. 正常后期 Normal anaphase ;6. 滞后染色体 Chromosomal laggard ;7. 环状结构、裂隙 Rings and gaps ;8. 双着丝粒染色体、染色体环 Bicentromere chromosome and ring ;9. 正常核型 Normal karyotype ;10. 易位 Translocation ;11. 重复 Duplication ;12. 缺失 Deletion

References :

[1] Rennenberg H. The fate of excess sulphur in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* ,1984 ,35 :121 — 153.

[2] Noji M ,Saito M ,Nakamura M ,*et al.* Cysteine synthase overexpression in tobacco confer tolerance to sulfur-containing environmental pollutants. *Plant Physiology* 2001 ,126 :973 — 980.

[3] Yi H L ,Meng Z. Genotoxicity of hydrated sulfur dioxide in root tips of *Vicia faba* and *Allium sativum*. *Mutation Research* ,2003 ,537 :109 — 114.

[4] Yi H L ,Si L Y ,Meng Z. Effects of sulfur dioxide derivatives on the growth and cell cycle of *Vicia faba* seedlings. *Bulletin of Botany Research* , 2002 ,22 (3) 305 — 309.

[5] Yi H L ,Meng Z. Effect of sulfur dioxide on the micronuclei formation in *Vicia faba* root tips. *Acta Ecologica Sinica* ,2003 ,23 (2) 292 — 296.

[6] Yi H L ,Li H H ,Meng Z. Micronucleus induced by the derivatives of sulfur dioxide in *Vicia faba* root tips. *Acta Ecologica Sinica* ,2004 ,24 (2) : 368 — 371.

[7] William F G. Higher plant assays for the detection of chromosomal aberrations and gene mutations—a brief historical background on their use for screening and monitoring environmental chemicals. *Mutation Research* ,1999 ,426 :107 — 112.

[8] Ma T H ,Xu Z D ,Xu C G ,*et al.* The improved *Allium/Vicia* root tip micronucleus assay for clastogenicity of environmental pollution. *Mutation Research* ,1995 ,334 :185 — 195.

[9] Ma T H. *Vicia* cytogenetic test for environmental mutagens ,A report of the U. S Environmental protection agency Gene-Tox program. *Mutation Research* ,1982 ,99 :257 — 271.

[10] Shapiro R. Genetic effects of bisulfite (sulfur dioxide). *Mutation Research* ,1977 ,38 :149 — 176.

[11] Hayatsu H ,Wataya Y ,Kai K ,*et al.* Reaction of sodium bisulfite with uracil , cytosine , and their derivatives. *Biochemistry* ,1970 ,9 :2858 — 2865.

[12] Kanaya N ,Gill B S ,Grover I S ,*et al.* *Vicia faba* chromosomal aberration assays. *Mutation Research* ,1994 ,310 :231 — 247.

[13] Li M X ,Chen R Y. Standardization of karyotype analysis in plant. *Journal of Wuhan Botanical Research* ,1985 ,3 (4) 297 — 302.

[14] Liu Y A ,Feng H S ,Chen Z G. Common methods karyotype analysis in plant. *Guizhou Agricultural Sciences* ,2006 ,34 (1) 98 — 102.

[15] Ma T H ,Isbandi D ,Khan S H ,*et al.* Low level of SO₂ enhanced chromatid aberrations in tradescantia pollen tubes and seasonal variation of the aberration rates. *Mutation Research* ,1973 ,21 :93 — 100.

[16] Sun C P ,Zhang J Z ,Duan S J. Free radical biology. Hefei :China Science and Technology University Press ,1999. 160 — 172.

参考文献 :

[4] 仪慧兰 ,司良燕 孟紫强. 二氧化硫衍生物对蚕豆幼苗生长和细胞周期的影响. *植物研究* ,2002 ,22 (3) 305 ~ 309.

[5] 仪慧兰 孟紫强. SO₂对蚕豆根尖细胞微核的诱导效应. *生态学报* ,2003 23 (2) 292 ~ 296.

[6] 仪慧兰 李红孩 孟紫强. SO₂体内衍生物诱发蚕豆根尖细胞微核. *生态学报* 2004 24 (2) 368 ~ 372.

[13] 李懋学 陈瑞阳. 关于植物核型分析的标准化问题. *武汉植物学研究* ,1985 ,3 (4) 297 ~ 302.

[14] 刘永安 冯海生 陈志国 ,等. 植物染色体核型分析常用方法概述. *贵州农业科学* 2006 34 (1) 98 ~ 102.

[16] 孙存铺 张建中 段绍瑾主编. 自由基生物学导论. 合肥 :中国科学技术大学出版社 ,1999. 160 ~ 172.

云南松 (*Pinus yunnanensis*) 林外生菌根真菌的时空分布

于富强^{1 2}, 肖月芹^{1 2}, 刘培贵¹

(1. 中国科学院昆明植物研究所, 昆明 650204 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 2000 年至 2005 年, 调查了滇中及其附近云南松林下外生菌根真菌的生态分布, 共采集、鉴定标本 834 号, 计有 27 科 39 属 211 种 (含变种、变型)。结果表明, 红菇属 (*Russula*)、牛肝菌属 (*Boletus*)、乳菇属 (*Lactarius*)、乳牛肝菌属 (*Suillus*)、口蘑属 (*Tricholoma*)、鸡油菌属 (*Cantharellus*) 和革菌属 (*Thelephora*) 等为云南松林下的主要外生菌根菌类群。它们的发生与分布受到气候 (如: 气温和降水)、植被 (如: 林龄、林地郁闭度和草本植被)、地形特征 (如: 海拔、坡向和坡度)、土壤条件 (如: pH 值、地表腐殖质和枯枝落叶层等) 和人为干扰 (比如: 商业化采集、林木采伐、火烧和地表物清理) 诸多因素的影响。总结为如下: (1) 5a 的调查显示, 云南松外生菌根菌的分布表现出季节性变化的规律; 其中以每年 1、2、3 月份的物种多样性为最低, 雨季期间急剧增加, 至中夏和秋末达到顶峰, 种类最为繁多。(2) 在海拔 1500 ~ 2100 m, 云南松外生菌根菌种类随着海拔的升高而逐渐增加, 至顶峰后, 又呈缓慢下降趋势。海拔因素不但对其物种多样性, 而且对于类群的组成也具有重要的影响。特定的类群往往发生在特定海拔范围。(3) 随着云南松林龄的增加, 外生菌根菌呈现由少至多的演替过程。外生菌根菌多样性随云南松林生长而逐渐增加的演替方式, 可能与宿主光合作用产物、根分泌物和土壤条件的逐渐变化有关。(4) 人类干扰是云南松外生菌根菌物种多样性和类群组成的主要负影响因子。大规模的商业化采集可破坏或枯竭地下菌丝体, 打破各物种之间的竞争平衡, 减少孢子释放影响资源再生能力, 进而直接影响到子实体的产生。外生菌根菌物种多样性的减少趋势会随林木砍伐和火烧强度的增加而加剧。地表枯枝落叶层与杂草密度也会影响子实体的产生, 其中枯枝落叶层的厚度与云南松外生菌根菌子实体的发生呈负相关性, 而被紫茎泽兰覆盖的云南松林地内也很少会发现相应的子实体。

关键词: 云南松, 季节性变化, 空间分布, 真菌演替

文章编号: 1000-0933 (2007) 06-2325-09 中图分类号: Q143, Q938, Q948 文献标识码: A

Spatiotemporal distribution of ectomycorrhizal fungi in *Pinus yunnanensis* forests

YU Fu-Qiang^{1 2}, XIAO Yue-Qin^{1 2}, LIU Pei-Gui¹

1 Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2325 ~ 2333.

Abstract: Ectomycorrhizal (EM) fungi from *Pinus yunnanensis* forests, a dominant vegetation type in central Yunnan and adjacent regions, were sampled from 2000 – 2005. A total of 834 mushroom collections representing 211 taxa in 39 genera and 27 families were obtained and identified. Of these, *Russula*, *Boletus*, *Lactarius*, *Suillus*, *Tricholoma*, *Cantharellus* and *Thelephora* were the dominant genera. Our ecological surveys indicate that EM fungal fruiting and distribution patterns are strongly affected by climate (e. g., air temperature and precipitation), vegetation (e. g., stand age, crown density and

基金项目: 美国国家地理学会资助项目 (C56-04), 国家自然科学基金资助项目 (30470011)

收稿日期: 2006-06-05; 修订日期: 2007-02-01

作者简介: 于富强 (1976 ~) 男, 山东人, 博士生, 主要从事外生菌根真菌分类、生理生态及栽培研究. E-mail: fuqiangyu@gmail.com.

致谢: 美国费尔德自然历史博物馆 Mueller 博士润色英文摘要, 特此致谢!

Foundation item: The project was financially supported by National Geographic Society of America (No. C56-04), and National Natural Science Foundation of China (No. 30470011)

Received date 2006-06-05; **Accepted date** 2007-02-01

Biography: YU Fu-Qiang, Ph. D. candidate, mainly engaged in ectomycorrhizal fungi taxonomy, physiology, ecology and cultivation. E-mail: fuqiangyu@gmail.com

表 1 SO₂水合物处理 12h 诱发蚕豆根尖细胞染色体异常

Table 1 Chromosomal aberrations of structure and number in *Vicia faba* root tips exposed to sulfur dioxide hydrates for 12h

浓 度 Concentration (mmol/L)	染色体结构变异的细胞数 No. of cells with chromosomal structure aberration					染色体数目变异的细胞数 No. of cells with abnormal chromosome number				总异常率 Total aberration (%)
	染色单体断片 Chromatid fragment	染色体断片 Chromosomal fragment	裂 隙 Gap	缺 失 Deletion	易 位 Translocation	11 条 11 Chr.	10 条 10 Chr.	9 条 9 Chr.	总异常 Total	
0	1	2	2	1	1	2	1	1	4	10.12 ± 4.01
0.20	1	2	3	0	0	3	1	0	5	13.52 ± 6.17
0.60	3	3	3	1	0	7	0	0	9	20.41 ± 6.10 **
2.00	4	2	9	2	3	7	2	1	10	29.64 ± 7.11 **
6.00	3	5	2	0	0	8	2	1	13	23.26 ± 6.08 **

* $p < 0.05$, * * $p < 0.01$;下同 , the same below ;Chr. , chromosomes

表 2 SO₂水合物处理 24h 诱发蚕豆根尖细胞染色体结构异常

Table 2 Aberration of chromosome structure in *V. faba* root tips exposed to sulfur dioxide hydrate for 24h

浓 度 Concentration (mmol/L)	染色单体型畸变率 Chromatid aberration frequency (%)				染色体型畸变率 Chromosome aberration frequency (%)				总异常 Total CA frequency (%)
	断片 Fragment	缺失 Deletion	裂隙 Gap	总异常 Total	断片 Fragment	缺失 Deletion	裂隙 Gap	总异常 Total	
0	0.53	0	0.89	1.42	2.68	0	0.49	3.17	4.49
0.20	2.88 **	2.77	1.92 *	7.57 **	19.23 **	0.96	5.77 **	25.96 **	33.53 **
1.00	4.34 **	1.74	7.50 **	13.58 **	22.22 **	1.39	4.17 **	27.78 **	41.36 **
2.00	5.00 **	4.00	8.00 **	17.00 **	25.15 **	0	0	25.15 **	42.15 **
15.00	2.38 **	1.19	5.95 **	9.52 **	28.57 **	0	0	28.57 **	38.09 **

表 1 SO₂水合物处理 12h 诱发蚕豆根尖细胞染色体异常

Table 1 Chromosomal aberrations of structure and number in *Vicia faba* root tips exposed to sulfur dioxide hydrates for 12h

浓 度 Concentration (mmol/L)	染色体结构变异的细胞数 No. of cells with chromosomal structure aberration					染色体数目变异的细胞数 No. of cells with abnormal chromosome number				总异常率 Total aberration (%)
	染色单体断片 Chromatid fragment	染色体断片 Chromosomal fragment	裂 隙 Gap	缺 失 Deletion	易 位 Translocation	11 条 11 Chr.	10 条 10 Chr.	9 条 9 Chr.	总异常 Total	
0	1	2	2	1	1	2	1	1	4	10.12 ± 4.01
0.20	1	2	3	0	0	3	1	0	5	13.52 ± 6.17
0.60	3	3	3	1	0	7	0	0	9	20.41 ± 6.10 **
2.00	4	2	9	2	3	7	2	1	10	29.64 ± 7.11 **
6.00	3	5	2	0	0	8	2	1	13	23.26 ± 6.08 **

* $p < 0.05$, * * $p < 0.01$;下同 ,the same below ;Chr. ,chromosomes

表 2 SO₂水合物处理 24h 诱发蚕豆根尖细胞染色体结构异常

Table 2 Aberration of chromosome structure in *V. faba* root tips exposed to sulfur dioxide hydrate for 24h

浓 度 Concentration (mmol/L)	染色单体型畸变率 Chromatid aberration frequency (%)				染色体型畸变率 Chromosome aberration frequency (%)				总异常 Total CA frequency (%)
	断片 Fragment	缺失 Deletion	裂隙 Gap	总异常 Total	断片 Fragment	缺失 Deletion	裂隙 Gap	总异常 Total	
0	0.53	0	0.89	1.42	2.68	0	0.49	3.17	4.49
0.20	2.88 **	2.77	1.92 *	7.57 **	19.23 **	0.96	5.77 **	25.96 **	33.53 **
1.00	4.34 **	1.74	7.50 **	13.58 **	22.22 **	1.39	4.17 **	27.78 **	41.36 **
2.00	5.00 **	4.00	8.00 **	17.00 **	25.15 **	0	0	25.15 **	42.15 **
15.00	2.38 **	1.19	5.95 **	9.52 **	28.57 **	0	0	28.57 **	38.09 **