

咪唑氮氧自由基的光催化氧化产生及其机理

王素华,陈德文

中国科学院化学研究所, 分子动态与稳态结构国家重点实验室, 北京 100080

摘要:

用ESR方法研究了吸附在半导体微粒表面的咪唑光催化氧化过程, 得到较为稳定的咪唑氮氧自由基, 其 g 值为2. 0060, 半衰期约为10~20min. 实验表明, 无论是光催化氧化还是光化夺氢后进行氧化, 咪唑氮氧自由基的生成过程均为退化分支链反应过程.

关键词: 咪唑 光催化 氮氧自由基 链反应 ESR

收稿日期 1995-02-24 修回日期 1995-04-19 网络版发布日期 1995-11-15

通讯作者: 陈德文 Email:

本刊中的类似文章

- 傅宏祥;吕功煊;李树本.有机物存在下 Cr^{6+} 离子的光催化还原[J]. 物理化学学报, 1997,13(02): 106-112
- 范山湖;余向阳;湛社霞;陈六平;古喜兰;李玉光;石宗娟.循环流动固定床光催化反应器动力学数学模拟[J]. 物理化学学报, 2001,17(11): 1000-1005
- 陈孝云;刘守新;陈曦;孙承林. TiO_2 /wAC复合光催化剂的酸催化水解合成及表征[J]. 物理化学学报, 2006,22(05): 517-522
- 张玉红;熊国兴;杨维祺;傅贤智.溶胶-凝胶法制备复合 M_2O_3 - TiO_2 光催化剂[J]. 物理化学学报, 2001,17(03): 273-277
- 刘平;周廷云;林华香;傅贤智. TiO_2 /SnO₂复合光催化剂的耦合效应 [J]. 物理化学学报, 2001,17(03): 265-270
- 杨建军;李东旭;李庆霖;张治军;汪汉卿.甲醛光催化氧化的反应机理[J]. 物理化学学报, 2001,17(03): 278-281
- 余家国;赵修建;陈文梅;林立;张艾丽. TiO_2 /SiO₂纳米薄膜的光催化活性和亲水性 [J]. 物理化学学报, 2001,17(03): 261-264
- 刘鸿;吴鸣;吴合进;孙福侠;郑云;李文钊.氢处理二氧化钛的光催化性能及电化学阻抗谱[J]. 物理化学学报, 2001,17(03): 286-288
- 李旦振;郑立;傅贤智;刘平.微波法制备 SO_4^{2-}/TiO_2 催化剂及其光催化氧化性能[J]. 物理化学学报, 2001,17(03): 270-272
- 水森;岳林海;徐铸德.几种制备方法的掺杂二氧化钛光催化特性[J]. 物理化学学报, 2001,17(03): 282-285
- 尹艺青;房喻;胡道道;高改玲.*N*-烷基咪唑标记甲基丙烯酸-丙烯酸共聚物的荧光特性 [J]. 物理化学学报, 2001,17(09): 776-780
- 吕功勋;李树本;Savinov E.N.;Parmon V.N.酞菁铬界面修饰的Cu₂S CdS复合硫化物光催化剂[J]. 物理化学学报, 1994,10(09): 790-795
- 金文;董绍俊.磷酸掺杂的聚吡咯薄膜电极的表征[J]. 物理化学学报, 1994,10(02): 183-187
- 毛友钢;郑堂光;王国斌;沈家骢.聚合反应增长自由基ESR谱的交替线宽现象研究[J]. 物理化学学报, 1993,9(05): 610-616
- 李莉;何天敬;王秀燕;刘凡镇. $[t(Br_3)]^2$ 的反对称极化率与圆偏振激光诱导的ESR谱频移[J]. 物理化学学报, 1997,13(08): 685-692
- 旷亚非;李国希;黄树坤;陆道惠;陈德文.苯甲醇电还原自由基中间产物的ESR研究[J]. 物理化学学报, 1997,13(10): 954-956
- 华南平;吴遵义;杜玉扣;邹志刚;杨平;P、N共掺杂 TiO_2 在可见光下对三氯乙酸的催化降解作用[J]. 物理化学学报, 2005,21(10): 1081-1085
- 杨俊伟;王绪绪;戴文新;李旦振;付贤智.Pt/ TiO_2 上苯和乙烯光催化氧化过程的磁场效应[J]. 物理化学学报, 2006,22(01): 92-97
- 熊裕华;李凤仪. Fe^{3+} 掺杂 TiO_2 光催化降解聚乙烯薄膜的研究[J]. 物理化学学报, 2005,21(06): 607-611
- 李越湘;王添辉;彭绍琴;吕功煊;李树本. Eu^{3+} 、 Si^{4+} 共掺杂 TiO_2 光催化剂的协同效应[J]. 物理化学学报, 2004,20(12): 1434-1439
- 邵宇;戴文新;王绪绪;丁正新;刘平;付贤智.铝片表面阳极氧化铝膜的光催化作用[J]. 物理化学学报, 2005,21(06): 622-626
- 彭峰;陈水辉;张雷;王红娟;谢志勇.纳米ZnO薄膜的制备及其可见光催化降解甲基橙[J]. 物理化学学报, 2005,21(08): 944-948
- 李志杰;侯博;徐曜;吴东;孙子罕.共沉淀法制备氧化硅改性的纳米二氧化钛及其性质[J]. 物理化学学报, 2005,21(03): 229-233
- 连文浩;郑瑛;王绪绪;付贤智.新戊基钛在MCM-41表面的接枝反应及产物性质[J]. 物理化学学报, 2004,20(09): 1138-1143
- 王梦晔;王成林, 谢鲲鹏, 孙岚, 林昌健.海绵状纳米结构 TiO_2 膜的制备及其光催化活性[J]. 物理化学学报, 0.0): 0-0
- 井立强;付宏刚;王德军;魏霄;孙家钟.掺Sn的纳米 TiO_2 表面光致电荷分离及光催化活性[J]. 物理化学学报, 2005,21(04): 378-382
- 苏文悦;张勇;王绪绪;付贤智.甲基叔丁基醚光催化降解的反应历程[J]. 物理化学学报, 2004,20(10): 1211-1215
- 沈杰;沃松涛;崔晓辉;蔡晓炜;杨锡良;章壮健.射频磁控溅射制备纳米 TiO_2 薄膜的光电化学行为[J]. 物理化学学报, 2004,20(10): 1191-1195
- 吴玉琪;吕功煊;李树本.无氧条件下 Pt/TiO_2 光催化重整降解一乙醇水溶液制氢[J]. 物理化学学报, 2004,20(07): 755-758
- 张琦;李新军;李芳柏;常杰. WO_3/TiO_2 光催化剂的可见光催化活性机理探讨[J]. 物理化学学报, 2004,20(05): 507-511
- 韩世同;王海玲;付贤智;王绪绪;丁正新;林志聪;苏文悦.芥子气模拟剂2-氯乙基乙硫醚的光催化降解[J]. 物理化学学报, 2004,20(03): 296-301
- 刘守新;孙承林.Ag改性提高 TiO_2 对Cr(VI)的光催化还原活性机理[J]. 物理化学学报, 2004,20(04): 355-359
- 卢晓锋;周斌;徐柏庆;陈银飞;刘化章.Au掺杂方式对锐钛 TiO_2 光催化性能的影响[J]. 物理化学学报, 2008,24(03): 459-464
- 刘守新;陈孝云.活性炭孔结构对 TiO_2 /AC复合光催化剂光催化活性的影响[J]. 物理化学学报, 2008,24(03): 533-538
- 孙毅;许娟;蔡文斌;李志裕.纳米 TiO_2 -免疫-电生孔复合技术光催化氧化杀伤LoVo肠癌细胞的机理[J]. 物理化学学报, 2008,24(08): 1359-1365
- 冯彩霞;王岩;黄金陵;张顺利.N掺杂纳米 TiO_2 可见光催化氧化丙烯的动力学行为[J]. 物理化学学报, 2008,24(04): 633-638
- 潘海波;王芳;黄金陵;陈耐生.原位合成CoPc/SnO₂的键合特性及可见光光催化活性[J]. 物理化学学报, 2008,24(06): 992-996
- 李金环;康万利;闫文华;郭伊苻;高洪峰;刘忠和. Eu^{3+} 掺杂 TiO_2 纳米晶的制备及光催化降解部分水解聚丙烯酰胺[J]. 物理化学学报, 2008,24(06): 1030-1034
- 罗大超;张兰兰;龙绘锦;陈咏梅;曹亚安.镍离子表面处理对二氧化钛光催化活性的影响[J]. 物理化学学报, 2008,24(06): 1095-1099
- 石健;李军;蔡文斌.具有可见光响应的C、N共掺杂 TiO_2 纳米管光催化剂的制备[J]. 物理化学学报, 2008,24(07): 1283-1286
- 许迪;高爱梅;邓文礼.簇形和花形CdS纳米结构的自组装及光催化性能[J]. 物理化学学报, 2008,24(07): 1219-1224
- 李海龙;罗武林;陈涛;田文字;孙茂;黎春;朱地;刘冉冉;赵宇亮;刘春立.载Ag二氧化钛纳米管的制备及其光催化性能[J]. 物理化学学报, 2008,24(08): 1383-1386
- 张春雷;吴志芸.钕掺杂石中钼的存在状态研究[J]. 物理化学学报, 1995,11(04): 302-307
- 高志明, 吴通好, 彭少逸.铁酸钡超微粒子的制备及结构特征[J]. 物理化学学报, 1995,11(05): 395-400
- 邱健斌, 曹亚安, 马颖, 管自生, 姚建年.担载材料对 TiO_2 薄膜光催化活性的影响[J]. 物理化学学报, 2000,16(01): 1-4
- 李越湘;吕功煊;李树本;董禄虎.光催化降解污染物制氢反应与原色红外表征[J]. 物理化学学报, 2003,19(04): 329-333
- 张金龙;赵文娟;陈海军;徐华胜;陈爱平;安保正.一负载贵金属光催化剂的光催化活性研究[J]. 物理化学学报, 2004,20(04): 424-427
- 赵文宽;方佑龄;董庆华;王怡中.用高温热水解法制备高活性 TiO_2 纳米微晶光催化剂[J]. 物理化学学报, 1998,14(05): 424-428
- 范山湖;孙振范;邹泉周;李玉光.偶氮染料吸附和光催化氧化动力学[J]. 物理化学学报, 2003,19(01): 25-29
- 丁正新;侯乙东;李旦振;王绪绪;付贤智;刘平.形态结构和光电特性对纳米 TiO_2 光催化性能的影响[J]. 物理化学学报, 2003,19(10): 978-981
- 刘守新;孙承林.担载Ag对 TiO_2 界面光子转移效率的影响[J]. 物理化学学报, 2004,20(06): 621-625
- 吴树新;马智;秦永宁;何菲;贾立山;张彦军.掺铜二氧化钛光催化剂的XPS研究[J]. 物理化学学报, 2003,19(10): 967-969
- 鲍兴旺;张金龙.梁学海;黄家祯;张利中.二氧化钛薄膜的低温制备及其性能表征[J]. 物理化学学报, 2005,21(01): 69-73
- 王桂贇;王延吉;赵新强;宋宝俊.CoO/SrTiO₃的合成及光催化分解水制氢性能[J]. 物理化学学报, 2005,21(01): 84-88
- 陈德文;刘延斌;易筱筠;徐广智.表面过剩 S^{2-} 对CdS光催化的影响与带位匹配 [J]. 物理化学学报, 2001,17(09): 781-787
- 冯春波;杜志平;赵永红;台秀梅;李秋小. Au改性纳米 TiO_2 材料对NPE-10光催化降解的活性[J]. 物理化学学报, 2006,22(08): 953-957
- 邹吉军;刘昌俊.冷等离子体处理制备NiO/SrTiO₃及其光催化水分解制氢性能研究[J]. 物理化学学报, 2006,22(08): 926-931
- 刘俊福;杨孔举;陆祖宏;丁德胜;吴海明.Tl₂O₃/聚-N-乙烯基咪唑复合纳米线的研究[J]. 物理化学学报, 1996,12(10): 865-869
- 王雪松;张宝文;曹怡.降冰片二烯衍生物光敏异构化反应的机理研究[J]. 物理化学学报, 1996,12(05): 423-428
- 王素华;陈德文.对位取代苯磺酸钠在溶液及界面的光反应研究[J]. 物理化学学报, 1996,12(04): 315-319
- 孙倪悦;陆涛;陈亚东;郝兰虎;许岩;李瑞君.3D-QSAR和分子对接研究咪唑类细胞周期蛋白激酶抑制剂的选择性[J]. 物理化学学报, 2009,25(04): 645-654
- 陈其凤;姜东;徐曜;吴东;孙子罕.溶胶-凝胶-水热法制备Ce-Si/TiO₂及其可见光催化性能[J]. 物理化学学报, 2009,25(04): 617-623
- 沈品晶;刘畅;朱育丹;李伟;冯新;陆小华.介孔 TiO_2 的水热法制备及其光催化性能[J]. 物理化学学报, 2009,25(05): 1013-1018
- 雷建飞, 李伟善.多孔阵列 TiO_2 /Ti的光催化性能[J]. 物理化学学报, 2009,25(06): 1173-1178
- 曹永强, 龙绘锦, 陈咏梅, 曹亚安.金红石/锐钛矿混晶结构的 TiO_2 薄膜光催化活性[J]. 物理化学学报, 2009,25(06): 1088-1092

66. 陈威, 董新法, 陈之善, 陈胜洲, 林惟明. 可见光下 Fe^{3+} 掺杂对 $\text{K}_2\text{La}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ 分解水制氢性能的影响[J]. 物理化学学报, 2009,25(06): 1107-1110
67. 敏世雄, 王芳, 张振敏, 韩玉琦, 冯雷. PANI/AMTES- TiO_2 纳米复合材料的制备及其光催化性能[J]. 物理化学学报, 2009,25(07): 1303-1310
68. 冯利利, 赵威, 刘洋, 熊亮, 李星国. MCM-41分子筛负载 TiO_2 复合材料光催化降解罗丹明B[J]. 物理化学学报, 2009,25(07): 1347-1351
69. 杜卫平, 李臻, 冷文华, 许宜铭. 氧化铁和羟基氧化铁光催化还原银离子[J]. 物理化学学报, 2009,25(08): 1530-1534
70. 李长玉, 刘守新, 马跃. 可见光响应 $\text{Cu-Cu}_2\text{-O}$ 复合材料的水热法一步合成[J]. 物理化学学报, 2009,25(08): 1555-1560
71. 李莉, 马禹, 曹艳珍, 计远, 郭伊蓉. 有序介孔材料 $\text{H}_6\text{P}_2\text{W}_{18}\text{O}_{62}/\text{TiO}_2$ (Brij-76)的制备与微波增强光催化降解一氯苯[J]. 物理化学学报, 2009,25(07): 1461-1466
72. 胡元方, 李越勋, 彭绍琴, 吕功焯, 李树本. SiO_2 复合 $\text{Pt-Cd}_{0.53}\text{Zn}_{0.47}\text{S}$ 固体的光催化性能[J]. 物理化学学报, 2008,24(11): 2071-2076
73. 李晓辉, 刘守新, N、F共掺杂 TiO_2 可见光响应催化剂的酸催化水解法制备及表征[J]. 物理化学学报, 2008,24(11): 2019-2024
74. 王唯诚, 李硕, 温怡芸, 黄茂初, 张磊, 姚艳玲, 陈耀强. $\text{TiO}_2/\text{YFeO}_3$ 复合光催化剂的制备、表征及其对气相苯的降解[J]. 物理化学学报, 2008,24(10): 1761-1766
75. 陈玉娟, 胡中华, 王晓静, 赵国华, 刘亚菲, 刘巍. 活性炭孔隙和比表面积对 TiO_2/AC 光催化性能的影响[J]. 物理化学学报, 2008,24(09): 1589-1596
76. 刘鼎, 许宜铭. 杂多酸存在下X3B染料光降解和Cr(VI)光还原的协同反应机理[J]. 物理化学学报, 2008,24(09): 1584-1588
77. 田宝柱, 童天中, 陈峰, 张金龙. 水洗处理对 Au/TiO_2 催化剂光催化活性的影响[J]. 物理化学学报, 2007,23(07): 978-982
78. 闫智慧, 武丽艳, 孙桂香, 张宁, 郑文君. 离子液体-水混合溶剂中制备纳米晶 TiO_2 的结构特性及其光催化活性[J]. 物理化学学报, 2007,23(07): 1032-1036
79. 张天水, 范巧芳, 曾森, 王正, 夏文娟, 池立峰, 耐晒大红BBN与表面活性剂双组分光催化降解[J]. 物理化学学报, 2007,23(11): 1803-1807
80. 张峰, 王书亮, 马云庆, 王翠萍, 刘兴安. 铝基膜的界面扩散对薄膜型 TiO_2 光催化活性的影响[J]. 物理化学学报, 2007,23(09): 1347-1352
81. 张霞, 赵岩, 张彩娟, 孟皓. 低温水热合成异形 TiO_2 纳米晶及其表征[J]. 物理化学学报, 2007,23(06): 856-860
82. 刘福生, 吉仁, 吴敏, 孙岳明. 吡染料敏化 Pt/TiO_2 光催化分解水制氢[J]. 物理化学学报, 2007,23(12): 1899-1904
83. 陈启元, 童海霞, 尹周澜, 胡慧萍, 李洁, 刘亮亮. 氧缺陷型 TiO_2 的制备、表征及其光催化析氧活性[J]. 物理化学学报, 2007,23(12): 1917-1921
84. 刘雪峰, 李伟, 张妍, 杨祝红, 冯新, 陈小华. 以OTS自组装单分子膜为探针研究 TiO_2 液相空穴氧化机理[J]. 物理化学学报, 2007,23(07): 1113-1116
85. 延辉, 苑世强, 刘成卜. 烯烃分子在氢终止 $\text{Si}(100)-2\times 1$ 表面的自由基链反应[J]. 物理化学学报, 2008,24(01): 8-12
86. 吴玉程, 刘晓璐, 叶敏, 解挺, 黄新民. 碳纳米管负载 TiO_2 复合材料的制备及其性能[J]. 物理化学学报, 2008,24(01): 97-102
87. 李鸿建, 陈刚, 李中华, 周超. 烧绿石结构 $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{-xCo}_x\text{O}_9$ 的制备及可见光分解水性能[J]. 物理化学学报, 2007,23(05): 761-764
88. 武伦刚, 赵莲花, 张海明, 赵青南. 光电流法研究 TiO_2 薄膜表面吸附氧对光催化活性的影响[J]. 物理化学学报, 2007,23(05): 765-768
89. 陈孝云, 刘守新. S掺杂宽光谱响应 $\text{Ti}_{1-x}\text{S}_x\text{O}_2$ 光催化剂的制备及表征[J]. 物理化学学报, 2007,23(05): 701-708
90. 仇鑫, 姚文清, 朱永法. $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{Si}$ 薄膜界面结构及光催化活性[J]. 物理化学学报, 2007,23(05): 625-629
91. 方舒政, 欧廷, 林敬东, 廖代伟. $\text{Cu}/\text{Sr}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 的制备及其光催化分解水制氢活性[J]. 物理化学学报, 2007,23(04): 601-604
92. 燕姗姗, 吴连弟, 陈峰, 张金龙. 双晶型 TiO_2 薄膜的低温制备及表征[J]. 物理化学学报, 2007,23(03): 414-418
93. 李旦振, 郑宜, 付贤智. 微波-光催化耦合效应及其机理研究 [J]. 物理化学学报, 2002,18(04): 332-335
94. 尹峰, 林原, 林瑞峰, 肖绪瑞. 强度调制光电流谱研究 TiO_2 悬浮体系光催化机理 [J]. 物理化学学报, 2002,18(01): 21-25
95. 赵文宽, 方佑龄. 光催化活性 TiO_2 薄膜的低温制备[J]. 物理化学学报, 2002,18(04): 368-371
96. 花建刚, 宋才生, 王光辉, 蔡明中. ESR自旋稳定化技术在漆酶化学中的应用[J]. 物理化学学报, 1999,15(02): 173-177
97. 水淼, 岳林海, 徐铸德. 稀土掺杂二氧化钛的光催化特性[J]. 物理化学学报, 2000,16(05): 459-463
98. 颜秀茹, 李晓红, 董明亮, 郭伟巍, 巩永进. 纳米 SnO_2 @ TiO_2 的制备及其光催化性能[J]. 物理化学学报, 2001,17(01): 23-27
99. 苏文悦, 付贤智, 魏可镁. SO^{2-}_4 表面修饰对 TiO_2 结构及其光催化性能的影响[J]. 物理化学学报, 2001,17(01): 28-31
100. 郝京诚, 汪汉卿, 葛金环. 微乳液结构的研究[J]. 物理化学学报, 1997,13(07): 593-597
101. 李芳植, 古国栋, 李新军, 万洪富. WO_3/TiO_2 纳米材料的制备及光催化性能[J]. 物理化学学报, 2000,16(11): 997-1002
102. 陈咏梅, 徐峰, 张睿, 王涵慧, 俞稼镛. 石油磺酸盐水溶液及其油/水平衡体系[J]. 物理化学学报, 1999,15(09): 789-793
103. 管自生, 马颖, 曹亚安, 纪学海, 姚建年. 钛凝胶的光致变色和电致变色特性[J]. 物理化学学报, 2000,16(01): 5-8
104. 石硕, 王海啸, 鲁润华, 汪汉卿. SDBS/ $n\text{-C}_8\text{H}_{18}/n\text{-C}_4\text{OH}$ /盐水体系中相乳液双连续结构[J]. 物理化学学报, 1999,15(01): 73-77
105. 孙波, 孟祥举, 王世超, 孙淑清, 肖丰收. 颜色指示法高通量筛选多相催化材料[J]. 物理化学学报, 2006,22(04): 441-444
106. 井立强, 孙晓君, 蔡伟民, 郑大方, 徐跃, 徐朝鹏, 徐自力, 杜尧国. Pd/ZnO和Ag/ZnO复合纳米粒子的SPS和IXPS研究[J]. 物理化学学报, 2002,18(08): 754-758
107. 张敏, 金振声, 王守斌, 张顺利, 张治军. 在Pd/ TiO_2 上CO的光催化增强效应[J]. 物理化学学报, 2003,19(02): 100-104
108. 李玉光, Porter John F, Chan Chak K. 焙烧的P-25 TiO_2 微结构特性和光催化活性[J]. 物理化学学报, 1999,15(01): 82-86
109. 沈尔忠, 郑莹光. 电子自旋共振三维图像的重建方法[J]. 物理化学学报, 1992,8(03): 345-351
110. 李静谊, 斯琴高娃, 刘丽娜. TiO_2 /聚丙烯光催化降解有机污染物[J]. 物理化学学报, 2007,23(01): 16-20
111. 张士成, 姚文清, 朱永法, 施利毅. 可见光响应 Bi_2WO_6 薄膜的制备与光电化学性能[J]. 物理化学学报, 2007,23(01): 111-115
112. 田蒙奎, 蒋丽, 上官文峰, 王世杰, 欧阳自远. 可见光响应光催化剂 $\text{K}_4\text{Ce}_2\text{Ta}_{10}\text{O}_{30}$ 、 $\text{K}_4\text{Ce}_2\text{Nb}_{10}\text{O}_{30}$ 及其固溶体的电子结构[J]. 物理化学学报, 2007,23(04): 466-472
113. 吴鄂, 石春山. 氟化镁中锗和铟的电荷迁移及其平衡解析[J]. 物理化学学报, 1995,11(10): 907-911
114. 苏碧桃, 孙佳星, 胡常林, 张小红, 费鹏, 雷自强. Fe^{3+} 掺杂 TiO_2 光催化纤维材料的制备及表征[J]. 物理化学学报, 2009,25(08): 1561-1566
115. 王其召, 蒋丽, 刘侠, 袁坚, 陈铭夏, 施建伟, 上官文峰. 光催化剂 $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{VO}_4$ 的制备和表征及其光催化分解水[J]. 物理化学学报, 2009,25(08): 1703-1707
116. 张晓艳, 崔晓莉. C-N共掺杂 TiO_2 的制备及其光催化制氢活性[J]. 物理化学学报, 2009,25(09): 1829-1834
117. 周波, 刘志国, 王红霞, 黄喜强, 隋郁, 王先杰, 吕昌, 苏文辉. 花状 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Cu}$ 的水热合成及其光催化性能[J]. 物理化学学报, 2009,25(09): 1841-1846
118. 李本侠, 王媛媛, 王艳芬. CuO 纳米结构阵列的简易合成及其光催化性质[J]. 物理化学学报, 2009,25(11): 2366-2372