

集约经营对山核桃林地土壤腐殖质 组分碳含量的影响

周秀峰¹, 张金林¹, 冯秀智¹, 盛卫星², 吴家森¹

(1. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室,
浙江 临安 311300; 2. 浙江省建德市林业局, 浙江 建德 311600)

摘要: [目的] 研究并探讨土壤腐殖质各组分碳含量的变化规律, 为山核桃林地土壤管理提供理论依据。[方法] 采集并分析山核桃林经营历史为 5, 10, 15, 20 a 的土壤样品的土壤腐殖质各组分碳含量, 并与天然混交林(0 a) 进行比较。[结果] 与天然山核桃—阔叶混交林(0 a) 相比, 随着经营历史的延长, 林地土壤腐殖质各组分碳含量的变化主要发生在表层(0—10 cm), 胡敏酸碳、富里酸碳和胡敏素碳含量均下降。与 0 a 相比, 集约经营 5 a 后胡敏酸碳、富里酸碳和胡敏素碳含量分别下降了 42.8%, 23.9% 和 21.2%, 而集约经营 20 a 后, 分别下降了 45.3%, 39.0%, 32.3%。集约经营 20 a 后, 亚表层(10—30 cm) 土壤胡敏素碳含量上升了 94.2%。[结论] 集约经营降低了山核桃林地土壤表层和亚表层的胡敏酸碳和富里酸碳含量, 同时也降低了表层土壤胡敏素碳含量, 而提高了亚表层土壤胡敏素碳含量。

关键词: 山核桃; 胡敏酸; 富里酸; 胡敏素; 集约经营

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)01-0067-05

中图分类号: S714.5

文献参数: 周秀峰, 张金林, 冯秀智, 等. 集约经营对山核桃林地土壤腐殖质组分碳含量的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 067-071. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.0012; Zhou Xiufeng, Zhang Jinlin, Feng Xiuzhi, et al. Effects of intensive management on carbon content of soil humus composition in *Carya cathayensis* forest[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 067-071. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.012

Effects of Intensive Management on Carbon Content of Soil Humus Composition in *Carya Cathayensis* Forest

ZHOU Xiufeng¹, ZHANG Jinlin¹, FENG Xiuzhi¹, SHENG Weixing², WU Jiasen¹

(1. Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon

Sequestration of Zhejiang Province, Zhejiang A&F University, Lin'an, Zhejiang

311300, China; 2. Forest Enterprise of Jiande City, Jiande, Zhejiang 311600, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to research the variation of soil humus carbon content of *Carya cathayensis* (Chinese hickory) forest after intensive management, in order to provide theoretical basis for soil management in the forest. [Methods] Based on the long-term investigation, we collected the soil samples from forests that were intensively-managed for 5, 10, 15, and 20 years, respectively. We then analyzed the soil humus of the intensively-managed forests (IMF), and compared with the evergreen and deciduous broadleaf forest (EDBF). [Results] The variation of soil humus carbon content mainly occurred in the surface soil. Soil humus including humic acid carbon (HAC), fulvic acid carbon (FAC), and humin acid carbon (HMC) decreased as an EDBE were converted to an IMF. Compared to the EDBF, there was a decrease in HAC (42.8%), FAC (23.9%), and HMC (21.2%) in the Chinese hickory forests after a 5-year of intensive management. After a 20-year intensive management, HAC, FAC, HMC were decreased by 45.3%, 39.0% and 32.3%,

收稿日期: 2016-06-21

修回日期: 2016-07-25

资助项目: 浙江省科技厅项目“浙江省林业碳汇与计量科技创新团队”(2009R50033)

第一作者: 周秀峰(1988—), 女(汉族), 山西省朔州市人, 硕士研究生, 研究方向为森林土壤学研究。E-mail: 389475802@QQ.com。

通讯作者: 吴家森(1972—), 男(汉族), 浙江省丽水市人, 博士, 教授级高级工程师, 硕士生导师, 从事森林土壤与环境研究。E-mail: jswu@zafu.edu.cn。

respectively. As to the sub-surface, after 20 years, HMC increased by 94.2%. [Conclusion] Intensive management reduced the content of the soil humic acid and fulvic acid carbon at surface and sub-surface soil.

Keywords: *Carya cathayensis*; humic acid; fulvic acid; humin acid; intensive management

土壤腐殖质是指与矿质结合形成的有机无机复合胶体,对土壤结构形成、土壤养分和水分的供应与保持都有重要影响,在一定程度上反映了土壤肥力状况,由胡敏酸、富里酸和胡敏素等组成^[1-4]。胡敏酸反映了土壤腐殖质的类型和性质,富里酸对促进矿物的分解和养分的释放具有重要作用,而胡敏素是和土壤矿物质结合紧密的较为稳定的物质^[5],HA/FA 比值是衡量土壤腐殖质复杂程度的指标^[6]。

山核桃(*Carya cathayensis*)是中国独有的高档坚果和重要的木本油料植物,原产于浙江、安徽交界的天目山区,现有面积 $8.93 \times 10^5 \text{ hm}^2$,其中 50% 左右是由山核桃—阔叶混交林经纯林化而改造而成的。在经营过程中,为了方便采摘,施用除草剂进行除草,导致林下植被层缺失。这种特殊的林地管理对土壤质量有何影响,前人已对经营过程中土壤总有机碳、轻重组有机碳、微生物量碳及微生物多样性进行了研究^[7-10],但对土壤腐殖质不同组分碳含量的研究尚属空白。本文拟通过空间代替时间的方法,研究集约经营过程中山核桃林地土壤腐殖质不同组分碳含量的变化规律,揭示不同经营年限山核桃人工林土壤肥力退化的机制,以期提供管理林地土壤的科学基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本文的研究区地处浙江省临安市昌化镇($30^{\circ}03'02''\text{N}$, $119^{\circ}08'54''\text{E}$),属于亚热带季风气候,年均温 16.4°C ,极端最高气温 41.7°C ,极端最低气温 -13.3°C ,年均有效积温 $5\ 774^{\circ}\text{C}$,年降水量 $1\ 628 \text{ mm}$,年日照时数 $1\ 774 \text{ h}$,无霜期 235 d 。土壤为发育于板岩的岩性土。试验林分位于海拔 $200\sim 260 \text{ m}$,坡度 20° 左右,每年 5 月上旬、9 月上旬分别施用复合肥 $[m(\text{N}) : m(\text{P}_2\text{O}_5) : m(\text{K}_2\text{O}) = 15 : 15 : 15] 600 \text{ kg}/\text{hm}^2$,林下只有少许草本作物,且无灌木生长^[11]。

1.2 试验设计

本研究于 2015 年 1 月,在查阅临安市森林经营档案的基础上,进行野外踏查,在昌化镇石坎村的 3 个小流域,分别在每个小流域选择经营 5,10,15,20 a 的山核桃纯林各 1 块(即每种经营年限的样地均为 3 个),以样地周围山核桃—阔叶混交林作为对照(0 a),在每个小流域中不同经营历史样地的坡向、坡度和土壤类型相同,面积 1 hm^2 左右。林分的基本特征见表 1,样地土壤化学性质见表 2。

表 1 样地林分基本特征

经营年限/a	林分密度/(株·hm ⁻²)	平均胸径/cm	平均高/m	郁闭度/%	主要乔木树种
0	1 350	10.0	8.0	80	枫香、木荷、青冈、山核桃
5	450	6.0	5.0	30	山核桃
10	450	8.0	6.0	50	山核桃
15	450	10.0	7.0	70	山核桃
20	435	12.0	8.0	80	山核桃

表 2 不同经营年限山核桃林地土壤化学性质

土层/cm	经营年限/a	pH 值	有机碳/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	碳/氮
0—10	0	5.6	28.16	2.45	151	3.5	124	11.5
	5	5.7	20.17	1.73	180	3.7	121	11.7
	10	5.8	19.39	1.91	178	4.7	125	10.2
	15	5.8	18.15	1.9	169	4.9	132	9.6
	20	5.6	17.28	1.68	145	6.6	119	10.3
10—30	0	5.5	13.56	1.23	124	2.5	74	11.0
	5	5.9	11.08	1.12	113	1.7	81	9.9
	10	5.7	11.74	1.15	109	3.6	81	10.2
	15	5.9	12.97	1.17	84	2.5	83	11.1
	20	5.7	13.31	1.18	109	2.4	83	11.3

在各样地中,采用五点法,分别采集 5 个表层(0—10 cm)、亚表层(10—30 cm)土壤样品,将其充分混合,然后采用四分法进行取样。采集 1 kg 左右后带回实验室,去除较大石粒以及植物根茎等其他物质,放置室内阴凉处风干,过 2 mm 筛后混匀,备用。

1.3 分析方法

土壤总有机碳含量采用重铬酸钾—硫酸外加热法测定。土壤总可提取腐殖质(包括胡敏酸和富里酸)采用 0.1 mol/L 焦磷酸钠和 0.1 mol/L 氢氧化钠浸提。称取过 0.25 mm 筛的风干土样 5 g,放入 0.25 L 锥形瓶中,加入 0.1 L 上述浸提剂,加塞,在往复式振荡器(108 r/min)上振荡 5 min,放入沸水中煮 60 min,过滤后分取部分滤液测定其腐殖质碳含量。另分取部分滤液,经酸化后,使胡敏酸沉淀,分离并测定其富里酸碳含量。腐殖质、富里酸碳氮含量在岛津 TOC—vcph 有机碳分析仪上测定^[12]。胡敏酸碳=腐殖质碳—富里酸碳;胡敏素碳=土壤碳—腐殖质碳。

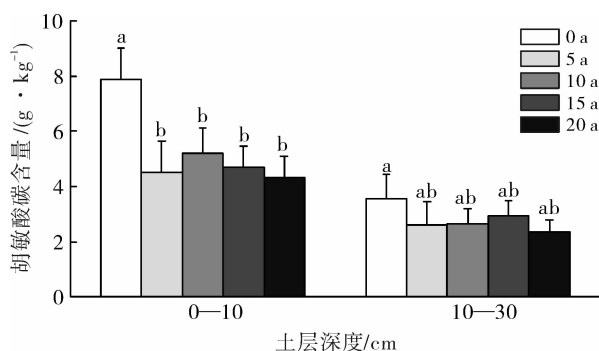
1.4 数据处理

采用 SPSS 13.0 软件及 Excel 2003 进行数据处理。用单因素方差分析和新复极差比较不同数据组间的差异($\alpha=0.05$)。

2 结果分析

2.1 不同经营年限山核桃林地土壤腐殖质组分碳含量

2.1.1 山核桃林地土壤胡敏酸碳含量的变化 山核桃林地土壤胡敏酸含碳量表现为表层(0—10 cm)高于亚表层(10—30 cm),随着经营年限的延长,土壤胡敏酸碳含量呈下降趋势(图 1)。



注:不同小写字母表示不同年限差异显著($p<0.05$)。下同。

图 1 不同经营年限山核桃林地土壤胡敏酸碳含量

与天然混交林(0 a)相比,经过 5 a 的集约经营,山核桃林地表层土壤胡敏酸碳含量降低了 42.8%,差异性达到显著水平($p<0.05$)。20 a 后,土壤胡敏酸碳含量下降了 45.3%,在不同年限之间的差异并

不显著($p>0.05$)。与天然混交林相比,经过 20 a 的集约经营,山核桃林地亚表层土壤胡敏酸碳含量显著下降,降幅达 38.5%($p<0.05$),但山核桃经营过程中的差异并不显著($p>0.05$)。

2.1.2 山核桃林地土壤富里酸碳含量的变化 山核桃林地土壤富里酸含碳量表现为表层高于亚表层,随着经营年限的延长,土壤富里酸碳含量呈下降趋势(图 2)。

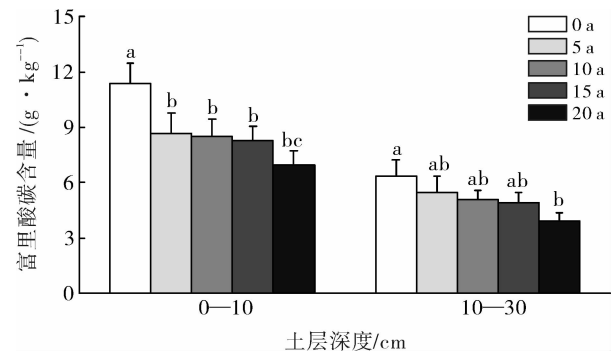


图 2 不同经营年限山核桃林地土壤富里酸碳含量

与天然混交林相比,经过 5 a 的集约经营,山核桃林地表层土壤富里酸碳含量降低了 23.9%,差异性达到显著水平($p<0.05$),20 a 后,土壤富里酸碳含量下降了 39.0%,在不同年限之间的差异并不显著($p>0.05$)。

与天然混交林相比,经过 20 a 的集约经营,山核桃林地亚表层土壤富里酸碳含量显著下降,降幅达 33.9%($p<0.05$),但山核桃经营过程中的差异并不显著($p>0.05$)。

2.1.3 山核桃林地土壤胡敏素碳含量的变化 随着山核桃经营年限的延长,林地土壤胡敏素含碳量在表层总体下降,而亚表层则呈上升的趋势(图 3)。

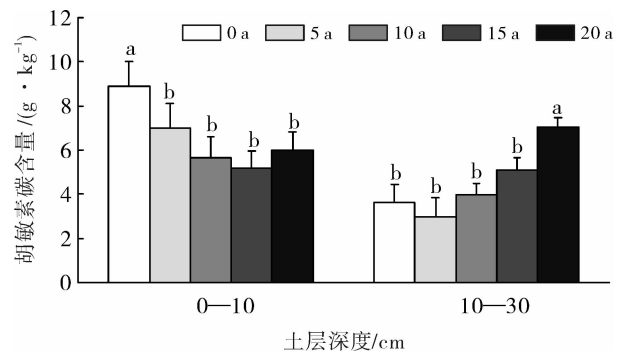


图 3 不同经营年限山核桃林地土壤胡敏素碳含量

与天然混交林相比,经过 5 a 的集约经营,山核桃林地表层土壤胡敏素碳含量降低了 21.2%,差异性达到显著水平($p<0.05$),20 a 后,土壤胡敏素碳

含量下降了 32.3%，在不同年限之间的差异并不显著 ($p > 0.05$)。随着经营年限的增长，林地亚表层土壤胡敏素碳含量先下降又上升的规律，与天然混交林相比，强度经营 5 a 后，胡敏素碳含量下降了 17.3%，而经营 20 a 后，胡敏素碳含量增加了 94.2%，差异性达到显著水平 ($p < 0.05$)，但山核桃经营过程中的差异并不显著 ($p > 0.05$)。

2.2 不同经营年限山核桃林地土壤腐殖质碳组成的变化特征

由表 3 可知，随着经营历史的延长，表层土壤胡敏酸碳、胡敏素碳占总有机碳的比例下降，而富里酸碳占总碳的比例则升高，但不同经营历史间的差异并不显著 ($p > 0.05$)。林地亚表层土壤腐殖质组分的

含碳量占总碳比例的变化规律与表层相似。

山核桃林地土壤腐殖质组分碳氮比 (C/N) 在不同经营年限之间的差异并不显著 (表 3)。林地表层土壤胡敏酸 C/N 介于 9.8~11.6，富里酸 C/N 介于 9.1~10.7，胡敏素 C/N 介于 8.7~15.0；而亚表层土壤胡敏酸 C/N 介于 10.8~13.5，富里酸 C/N 介于 6.9~9.1，胡敏素 C/N 介于 7.4~14.1。

林地土壤 HA/FA 随着集约经营历史的延长，而略有下降，但不同经营历史阶段之间的差异并不显著 ($p > 0.05$)，山核桃林地土壤表层 HA/FA 介于 0.54~0.69，亚表层 HA/FA 介于 0.64~0.72，且表层土壤 HA/FA 均低于亚表层 (表 3)。

表 3 集约经营过程中土壤腐殖质组分碳占总碳的比例

土层深度/ cm	年限/a	腐殖质组分碳占总碳比例/%			C/N			HA/FA
		胡敏酸	富里酸	胡敏素	胡敏酸	富里酸	胡敏素	
0—10	0	28.0	40.4	31.6	11.6	10.7	12.6	0.69
	5	27.3	42.9	29.8	10.0	9.1	15.0	0.64
	10	26.8	43.9	29.3	9.8	9.4	13.8	0.61
	15	25.9	45.5	28.6	11.6	9.2	8.7	0.57
	20	25.0	46.0	29.0	10.8	10.3	10.0	0.54
10—30	0	27.1	37.4	35.5	10.8	6.9	14.1	0.72
	5	30.6	45.4	24.0	10.8	7.6	13.3	0.67
	10	28.6	42.5	28.9	13.2	9.1	7.4	0.67
	15	27.6	41.3	31.1	13.5	8.7	9.4	0.67
	20	27.1	42.6	30.3	12.2	8.9	9.5	0.64

3 讨论

林地土壤腐殖质组分碳含量随林分种类、林龄、人为经营措施等不同而产生变化。已有结果表明果园土壤腐殖质含量明显高于荒地土壤^[13]，落叶松人工林的土壤腐殖质含量随着种植年限的增大而增加，直到接近熟林以后有所下降^[14]。王义祥等^[15]研究表明柑橘果园土壤腐殖质碳组分随着经营年限的延长而下降。本研究表明在长期集约经营过程中，山核桃的林地土壤的腐殖质组分碳含量呈现总体下降的趋势。

在长期集约经营山核桃的过程中，林下灌木层和草本层的缺失，凋落物数量减少，影响了土壤腐殖质的输入，而另一方面人工施肥、农药的施入、除草及果实采摘等活动对土壤环境产生了干扰，影响土壤腐殖质的输出。随着经营年限的增长，林地土壤腐殖质组分的质量分数逐渐下降，可认为是人为经营对土壤的扰动破坏了腐殖质依附的土壤物理结构、土壤团聚体和合成腐殖质的土壤微生物等，使得腐殖质碳分解为

CO₂，从土壤中释放出来^[16]；同时林地土壤土质疏松易于流失，其侵蚀模数在 1 157~3 887 t/(km²·a)^[17]，这也是腐殖质组分下降的原因之一。

胡敏素是最难分解的、性质不活泼的土壤腐殖质组分之一。在本研究中，土壤表层胡敏素碳含量随着经营历史的延长而下降，而在亚表层则随着经营年限的增加而上升。在山核桃经营过程中，大量的人为经营活动(除草、施肥)及土壤径流淋溶的影响^[18-19]，土壤中稳定的胡敏素由表层向下迁移至亚表层，从而使林地亚表层土壤胡敏素碳含量显著提高。而肖斌等^[20]研究表明，桉树林和马尾松林不同连栽代次的土壤腐殖质碳及各组分碳含量随土壤深度的增加而减少。

碳氮比是表征土壤肥力质量的重要指标，反映了土壤腐殖质中碳、氮组成的变化，以及土壤腐殖质组分中碳氮比值的不同，还表示土壤有机碳降解和腐殖化程度的区别。本研究发现林地土壤胡敏酸 C/N 高于富里酸 C/N，这与龚伟等^[21]研究结果相反。

HA/FA 比值是土壤腐殖质成份变异的指标之一,影响土壤有机质转化的因素。本研究中 HA/FA 比值的下降,说明山核桃林的长期高度经营降低了林地土壤腐殖化程度。由于山核桃人工经营,造成了较大的土壤侵蚀,土壤径流移去含量较高的腐殖质的土粒,其 HA/FA 比值及胡敏酸的含量也较高,侵蚀造成了土壤腐殖质含量的下降,也降低了胡敏酸的比例和 HA/FA 比值。这与李忠佩等^[22]研究结果随着侵蚀强度的增加,土壤总有机碳、胡敏酸碳和 HA/FA 明显下降相似。

4 结论

集约经营山核桃林会使林地土壤表层(0—10 cm)胡敏酸碳和富里酸碳含量明显下降,且随着经营历史的延长胡敏酸碳和富里酸碳下降幅度不同,集约经营 5 a 下降幅度最大,同时土壤底层(10—30 cm)也表现出相似的规律。而集约经营过程中胡敏素碳含量在土壤表层(0—10 cm)和土壤亚表层(10—30 cm)表现出不同的规律,即胡敏素碳含量在土壤表层(0—10 cm)总体下降,而在土壤亚表层(10—30 cm)总体上升。

[参 考 文 献]

- [1] Lehtonen K, Hämmnen K, Ketola M. Structurally bound lipids in peat humic acids[J]. *Organic Geochemistry*, 2001, 32(1):33-43.
- [2] 窦森. 土壤有机质[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [3] Martinez C M, Alvarez L H, Celis L B, et al. Humus-reducing microorganisms and their valuable contribution in environmental processes[J]. *Applied microbiology and biotechnology*, 2013, 97(24):10293-10308.
- [4] 李凯, 窦森, 韩晓增, 等. 长期施肥对黑土团聚体中腐殖物质组成的影响[J]. *土壤学报*, 2012, 47(3):579-583.
- [5] 褚慧, 宗良纲, 汪张颢, 等. 不同种植模式下菜地土壤腐殖质组分特性的动态变化[J]. *土壤学报*, 2013, 50(5):931-939.
- [6] 吴家森. 山核桃人工林土壤有机碳变化特征[D]. 南京:南京林业大学,2014.
- [7] 盛卫星, 吴家森, 徐建春, 等. 不同经营年限对山核桃林地土壤轻重组有机碳的影响[J]. *浙江农林大学学报*, 2015, 32(5):803-808.
- [8] 邵香君, 徐建春, 吴家森, 等. 山核桃集约经营过程中土壤微生物量碳氮的变化[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(2):72-75.
- [9] 吴家森, 钱进芳, 童志鹏, 等. 山核桃林集约经营过程中土壤有机碳和微生物功能多样性的变化[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(9):2486-2492.
- [10] 叶晶, 吴家森, 张金池, 等. 不同经营年限山核桃林地枯落物和土壤的水文效应[J]. *水土保持通报*, 2014, 34(3):87-91.
- [11] 吴家森, 张金池, 黄坚钦, 等. 浙江省临安市山核桃产区林地土壤有机碳分布特征[J]. *浙江大学学报:农业与生命科学版*, 2013, 39(4):413-420.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999:108,116-118.
- [13] 刘文利, 吴景贵, 赵新宇, 等. 不同园龄果园土壤腐殖质组分数量及其元素组成特征[J]. *东北林业大学学报*, 2014, 42(6):68-72.
- [14] 陈立新, 杨承栋. 落叶松人工林土壤腐殖质物质组分及其对酸度的影响[J]. *林业科学*, 2007, 43(2):8-14.
- [15] 王义祥, 叶菁, 王成己, 等. 不同经营年限对柑橘果园土壤有机碳及其组分的影响[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(10):1574-1580.
- [16] 钱进芳, 吴家森, 黄坚钦. 生草栽培对山核桃林地土壤养分及微生物多样性的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(15):4324-4332.
- [17] 王云南. 浙江省典型经济林水土流失特征分析与防治措施优化设计[D]. 杭州:浙江大学,2011.
- [18] 李凯, 窦森. 不同类型土壤胡敏素组成的研究[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(3):116-119, 157.
- [19] 吴萍萍, 王家嘉, 李录久. 不同施肥措施对白土腐殖质组成的影响[J]. *土壤*, 2016, 48(1):76-81.
- [20] 肖斌. 不同连栽代次桉树人工林土壤有机碳演变特征[D]. 南宁:广西大学,2014.
- [21] 龚伟, 颜晓元, 王景燕, 等. 长期施肥对小麦—玉米作物系统土壤腐殖质组分碳和氮的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(6):1245-1252.
- [22] 李忠佩, 吴晓晨, 陈碧云. 不同利用方式下土壤有机碳转化及微生物群落功能多样性变化[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(8):1712-1721.