

桂林岩溶石山青冈栎群落土壤相关性研究

金秋珠¹, 殷紫嫣¹, 罗雪铭¹, 江圣哲¹, 盘远方¹, 姜勇^{1,2*}

(1. 珍稀濒危动物植物生态与环境保护教育部重点实验室, 广西桂林 541006; 2. 广西师范大学 生命科学学院, 广西桂林 541006)

摘要 为了探讨岩溶石山土壤养分及其分布状况, 以广西桂林市郊的演坡山、阳朔县的白沙镇和碑头村的青冈栎群落的土壤理化性质为研究对象, 对3个采样点的青冈栎群落土壤理化性质是否存在差异以及各理化性质的相关性进行研究。单因素方差分析和多重比较表明: 土壤有机质、土壤全磷、土壤有效钾在演坡山、白沙镇和碑头村间无显著差异; 土壤含水量、土壤有效磷和土壤 pH 在3个采样点存在显著差异。Pearson 相关性分析表明: 土壤有机质与土壤有效钾呈显著正相关, 与土壤全磷呈显著正相关; 土壤全钾与土壤有效钾呈极显著正相关, 与 pH 呈极显著负相关, 与土壤有效磷呈显著负相关; 土壤 pH 与土壤有效磷呈显著正相关, 与土壤全磷呈极显著正相关。

关键词 青冈栎; 土壤理化性质; 单因素方差分析; 多重比较; 相关性分析

中图分类号 S151.9*3 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)13-0059-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.13.018



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Soil Correlation of *Quercus glauca* Community in Karst Stone Mountain of Guilin

JIN Qiu-zhu, YIN Zi-yan, LUO Xue-ming et al (Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environment Protection, Ministry of Education, Guilin, Guangxi 541006)

Abstract To study the soil nutrients and their distribution in Karst stone mountains, the soil physicochemical properties of *Quercus glauca* community distributed in Yanpo Mountain, Baisha Town and Beitou Village in Guilin City, Guangxi were studied. Single factor variance analysis, multiple comparison method and correlation analysis were used to study the difference of soil physicochemical properties of *Q. glauca* community in three sampling sites and the correlation of each physicochemical property. One-way ANOVAs and multiple comparisons (Turkey-Kramer HSD) showed that, soil organic matter, soil total phosphorus and available potassium of *Q. glauca* community in Yanpo Mountain, Baisha Town and Beitou Mountain were not significantly different. There were significant differences in soil water content, soil total potassium, and soil pH among the three sampling sites. Pearson correlation analysis showed that, soil organic matter was positively correlated with soil available potassium, and positively correlated with soil total phosphorus; soil total potassium was positively correlated with soil available potassium, negatively correlated with pH and negatively correlated with soil available phosphorus; soil pH was positively correlated with soil available phosphorus, and positively correlated with soil total phosphorus.

Key words *Quercus glauca*; Physicochemical properties of soil; Single factor analysis of variance; Multiple comparisons; Correlation analysis

土壤是生态系统中生物赖以生存的载体、植被生长的基础、植物生长所需养分的主要来源。土壤养分是影响生态系统结构和功能的关键因素, 是土壤肥力的重要指标, 直接决定植被生长、分布、群落结构、生态系统和功能的稳定性。土壤养分的空间变异是植被组成及相关生理生态过程综合影响的结果。目前, 许多学者对多种生态系统类型中土壤养分时空变化规律进行了相应研究。例如, Goidts 等^[1]研究了比利时 50 年土壤有机碳变异特征; 宋丰骥等^[2]对土壤表层全氮进行了半方差分析和空间插值计算。地形、植被与土壤养分相互作用, 关系复杂。研究土壤养分空间变异, 特别是对量化过程的研究, 对科学的土壤资源利用及指导植被恢复, 生态系统评价、治理具有重要意义。

有许多学者对青冈栎群落进行了研究, 但是大多主要研究其群落结构、种内种间、生理特性及植物功能性状, 而关于青冈栎群落土壤养分的研究较少, 资料也相对零散。例如, 赵雨娟等^[3]研究石栎-青冈群落结构, 发现地形和土壤空间结构是石栎-青冈群落物种组成和空间分布的决定性因素,

有效磷、全钾和全磷含量是最主要的土壤因子。在青冈栎生理特性的研究方面, 程勇等^[4]研究了氮磷钾施肥对比对青冈栎幼苗生长的影响, 发现氮、磷、钾对青冈栎幼苗生长的影响效应不同, 其中氮元素影响最大, 磷元素和钾元素影响较小。盘远方等^[5]对桂林岩溶石山青冈栎和灌丛植物叶功能性状随坡向梯度变化规律的研究得出: 在阴坡上, 对比叶面积影响显著的环境因子是土壤有效氮含量; 阳坡上则是土壤含水量和土壤 pH。

岩溶生态系统是我国生态环境最为脆弱及恶劣的地区之一, 其自然地理地质条件恶劣, 生态系统脆弱, 石漠化程度加剧, 增加了植被恢复与重建的难度^[6]。青冈栎 (*Cyclobalanopsis glauca*) 是壳斗科青冈属常绿阔叶树种, 具有较强的生态适应性。研究岩溶石山青冈栎群落土壤理化性质特征, 可以很好地了解土壤形成过程、结构和功能, 对青冈栎群落空间格局以及土壤侵蚀、生态过程等研究有借鉴作用。广西桂林演坡山、白沙镇和碑头村地貌类型为典型的峰丛洼地地貌, 海拔多在 100~500 m, 属于中亚热带湿润季风气候, 是学者研究岩溶石山地区植物生态的常选之地。盘远方等^[5]、黄冬柳等^[7]、胡刚等^[8]和李月娟等^[9]均选择这 3 处样地为研究区, 对青冈群落植物功能性状的尺度变化与关联、青冈种群数量动态、青冈栎群落生态等进行研究, 但均未对该处的土壤生态进行研究。该研究以这 3 处青冈栎群落土壤为对象, 探讨桂林岩溶石山地区土壤养分含量的差异性及其关联性, 以

基金项目 广西自然科学基金项目(2016GXNSFBA380030); 广西壮族自治区中青年教师基础能力提升项目(ky2016YB062); 2018 年广西高校大学生创新创业计划项目(201611000060)。

作者简介 金秋珠(1998—), 女, 广东怀集人, 从事植物生态学研究。
* 通信作者, 讲师, 博士, 从事森林生态学研究。

收稿日期 2019-10-28

期为岩溶石山地区植被的恢复与重建、森林管理及其可持续利用等提供科学理论依据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况 研究区位于广西壮族自治区东北部地区的桂林市境内,地理坐标为 24°40′~25°40′ N,110°09′~110°42′ E,海拔为 173~268 m。该地区多为峰林、峰丛地貌,岩石致密且裸露率高,表层土壤稀薄,地表水缺乏,具有明显的岩溶地貌特征,属于典型的喀斯特地貌类型^[10]。区域内全年雨量充沛,年均降雨量为 1 855.89 mm;气候暖和,全年

最冷月为每年开始的第 1 个月,该月平均气温是 8.0℃,而最热的月份为 8 月,该月平均气温是 28.1℃,日照时长为 1 465 h,年平均蒸发量达 1 457.96 mm,全年无霜期为 309 d,属于典型的中亚热带湿润季风气候^[11]。3 个研究样点主要以青冈栎为优势种,其伴生种有红背山麻杆 (*Alchornea trewioides*)、龙须藤 (*Bauhinia championii*)、干花豆 (*Fordia cauliflora*)、齿叶黄皮 (*Clausena dunniana*)、朴树 (*Celtis sinensis*) 和粗糠柴 (*Mallotus philippensis*) 等。样地概况如表 1 所示。

表 1 各样地概况

Table 1 The basic situation of the study site

研究样地 Study site	海拔 Elevation range m	地理位置 Geographic position	样方数 Number of plots	样方面积 Plots area m ²	优势种 Dominant species
碑头村 Beitou Village	173~208	24°44′43.40″E,110°25′19.71″N	7	2 800	青冈栎、红背山麻杆、龙须藤、齿叶黄皮
演坡山 Yanpo Mountain	179~268	25°19′09.35″E,110°15′19.26″N	9	3 600	青冈栎、红背山麻杆、龙须藤、干花豆
白沙镇 Baisha Town	241~257	24°49′52.99″E,110°22′43.74″N	4	1 600	青冈栎、干花豆、朴树、粗糠柴

1.2 研究方法

1.2.1 样方设置与土壤取样。经过野外实地踏勘,于 2017 年 5—11 月在桂林市郊的演坡山、阳朔县的碑头村和白沙镇的富里湾共设置了 20 个大小为 20 m×20 m 的样方,分别为演坡山 9 个、碑头村 7 个、富里湾 4 个。在此基础上,将每个 20 m×20 m 的样方划分成 16 个 5 m×5 m 的小样方。在小样方中心位置处用环刀采集 0、15 和 30 cm 的土样用于测定土壤物理性质(土壤含水量),取样结束后将土壤依次回填。土壤化学性质测定采用“梅花五点法”采样,在每个 5 m×5 m 小样方的 4 个顶点处和中心位置,清除表层枯落物和腐殖质层后,用直径 10 cm 的土钻钻取 0 cm 土层土样,运用四分法混合均匀后带回实验室用于土壤化学性质的测定^[12]。将采集的新鲜土样放置于室内阴凉通风处自然干燥,待风干后,剔除其中的根系、石块、钙核及动植物残体等杂物后,倒入研钵中研细,过不同孔径(0.15、0.25、1.40 mm)的土壤筛,对预处理后的土样进行土壤 pH、有机质、全磷、速效磷、全钾和速效钾 7 个土壤化学性质指标的测定。

1.2.2 土壤样品测定。土壤含水量(SWC,%)采用烘干法测定;土壤 pH 采用电导法测定(水土比为 2.5:1)^[13];有机质(SOM,g/kg)采用重铬酸钾容量法测定;全氮(TN,g/kg)采用全自动凯氏定氮仪(KJELTEC™8400)测定;全磷(TP,g/kg)采用钼锑抗比色法测定^[14];全钾(TK,g/kg)采用碱熔-火焰光度法测定^[12];有效氮(AN,mg/kg)采用碱解扩散法测定^[15];有效磷(AP,mg/kg)采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法;有效钾(AK,mg/kg)采用乙酸铵浸提-火焰光度法^[16]。每个土壤样品均重复测定 3 次取其平均值作为该研究的原始数据。

1.2.3 数据分析。采用单因素方差分析(one-way ANOVAs)方法对碑头村、演坡山和白沙镇 3 个采样点的土壤环境因子进行差异性统计分析。在不同采样点的土壤环境因子呈现统计显著的情况下,又运用 Tukey-Kramer HSD 检测进

行多重比较。为了解各土壤环境因子的相互关系,运用 Pearson 相关性分析各土壤环境因子间的相关性,相关性大小用 Student's t 检验。数据统计分析与绘图均在 R-2.15.1 程序(R Development Core Team,2015)中进行。

2 结果与分析

2.1 不同样地土壤理化性状对比 由图 1 可知,土壤有机质、土壤全磷、土壤有效钾在演坡山、白沙镇和碑头村间无显著差异(图 1B、C、F);土壤含水量、土壤有效磷在碑头村、演坡山和白沙镇间存在显著差异,且表现为白沙镇>演坡山>碑头村(图 1A、E);土壤全钾在白沙镇、碑头村和演坡山间存在显著差异,且表现为演坡山>碑头村>白沙镇(图 1D);土壤 pH 在白沙镇、演坡山和碑头村间存在显著差异,且表现为白沙镇>碑头村>演坡山(图 1G)。

2.2 土壤理化性状的相关性 3 个采样点土壤环境因子的相关性分析表明(图 2):土壤有机质与土壤有效钾呈极显著正相关($P<0.01$),与土壤全磷呈显著正相关($P<0.05$);土壤全钾与土壤有效钾呈极显著正相关($P<0.01$),与 pH 呈极显著负相关($P<0.01$),与土壤有效磷呈显著负相关($P<0.05$);土壤 pH 与土壤有效磷呈显著正相关($P<0.05$),与土壤全磷呈极显著正相关($P<0.01$);土壤有效磷与土壤含水量呈显著正相关($P<0.01$)。

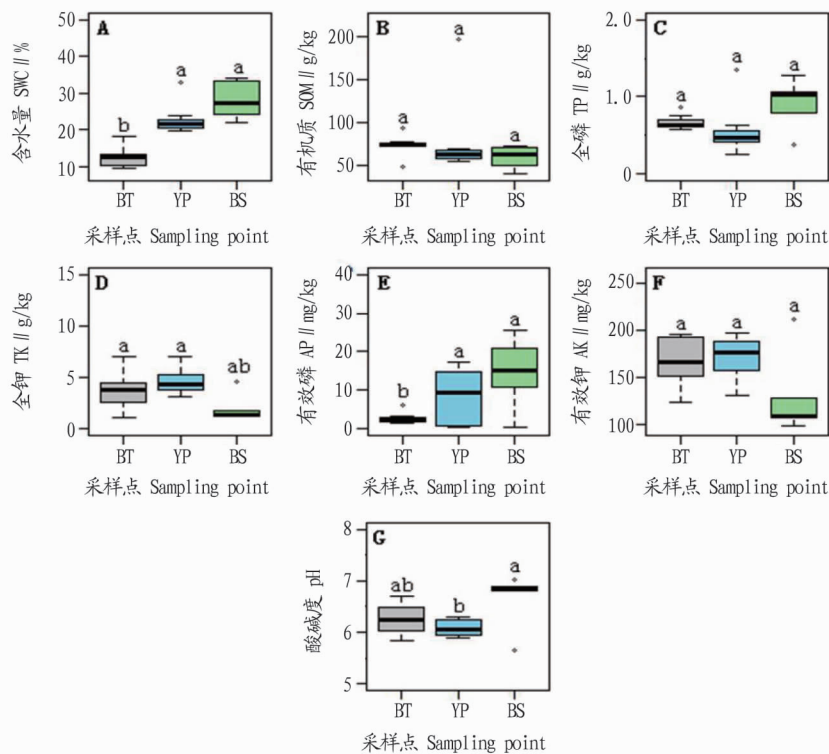
3 讨论

3.1 不同样地土壤理化性状对比 岩溶石山地表土壤含水量是影响生态环境、生物多样性、水文循环及水环境保护的重要因素。该研究中,3 处样地的土壤平均含水量存在显著差异。可能是因为岩溶石山地质条件恶劣,地形破碎,土壤浅薄,分布不均,加上太阳辐射量不同,土壤表层温度不同,导致地表土壤蓄水能力不同,从而使土壤含水量存在显著差异。

土壤磷素是植物生长的重要元素之一,是衡量土壤中各种形态磷总和的一个重要指标,主要来源于枯落物矿化及土壤矿质颗粒的风化^[17]。磷对保持土壤肥力起重要作用,受

到母质、气候、生物、土壤酶等一系列因素的影响^[18]。该研究中,3处样地的土壤有效磷含量存在显著性差异。可能是因为各样地土壤风化程度不同,土壤 pH 存在明显差异,且在

酸性土壤中,土壤的磷酸易与铁、铝离子结合成不溶物而被固定,导致土壤中有效磷含量因结合程度不同而不同,并且含量较低。



注:BT. 碑头村;YP. 演坡山;BS. 白沙镇。SWC. 土壤含水量;pH. 酸碱度;SOM. 有机质;TP. 全磷;TK. 全钾;AP. 有效磷;AK. 有效钾。不同小写字母表示样地间有显著差异($P < 0.05$),粗实线表示中位数,虚线表示整体平均值

Note:BT. Beitou Village;YP. Yanpo Mountain;BS. Baisha Town. SWC. Soil water content;pH. Power of hydrogen;SOM. Soil organic matter;TP. Total phosphorus;TK. Total potassium;AP. Available phosphorus;AK. Available potassium. Different lowercase letters indicated significant differences between plots($P < 0.05$),the thick solid line indicated the median,and the dashed line indicated the overall average

图 1 3个岩溶石山地区土壤理化性状

Fig. 1 Soil physical and chemical properties of three karst stone mountain areas

钾是高等植物生长发育的必需营养元素之一,是三大酶类(合成酶、氧化还原酶、转移酶)的活化剂,参与植物的核酸代谢、糖代谢、蛋白质代谢等主要代谢过程^[19],可提高抵抗逆境的能力和作物品质^[20]。该研究中,3处样地全钾含量也存在显著性差异,可能与3个采样点酸性土壤的淋溶作用不同有关。土壤钾素具有很强的溶解性和易流失性,容易受土壤母质、地形、土壤风化程度等的影响,易被过多的氢离子取代而淋失掉,从而导致各样地土壤全钾含量差异显著。

土壤 pH 既影响土壤本身的理化性质和生物因素,也影响植物对养分的吸收和生长发育。该研究中,3处样地的土壤均属于偏酸性土壤,但 pH 在各个样地存在显著差异。原因可能是岩溶石山的土壤性质主要为碳酸盐岩风化的石灰土,而碳酸盐的溶解和硅酸盐矿物的风化消耗土壤中的 H^+ ,导致土壤 pH 逐渐下降,又因为3处样地的土壤表层温度、微生物种类等因素不同导致碳酸盐的溶解和硅酸盐矿物的风化程度不同,以及随后淋溶作用程度不同使土壤中交换性酸(交换性氢和交换性铝)的形成存在显著差异,以致土壤 pH 在各个样地存在显著差异。

3.2 土壤理化性质的相关性 在岩溶石山,土壤有机质与

土壤有效钾呈极显著正相关,与土壤全磷呈显著正相关。其原因可能是在岩溶石山,土壤干湿交替频繁,速效钾进入黏粒矿物晶格中,土壤干旱脱水引起收缩,钾离子被陷其中,暂时失去被置换的自由,转化为缓效态钾暂时被固定。当降水量减少时,土壤微生物生理活性降低,矿化作用减弱,土壤有机质含量提高,土壤的钾素也被释放出来,土壤有效钾含量提高^[21],土壤全磷能够被土壤有机质或土壤胶体吸附,所以土壤全磷含量也增加^[22]。

土壤全钾与土壤有效钾呈极显著正相关,与 pH 和土壤有效磷呈显著负相关。可能的原因是,该研究选取的3个样地主要为自然土壤,人为因素影响小,全钾到速效钾的转化由土壤自身实现,故变幅不大,说明土壤速效钾含量高低受制于全钾供应^[23]。土壤全钾与 pH 呈显著负相关,可能的原因是岩溶石山土壤主要呈酸性,且酸性土壤持钾能力弱^[24],而对于岩溶石山土壤全钾和有效磷之间的响应机制需要进一步探索。

土壤 pH 与土壤有效磷呈显著正相关,与土壤全磷呈极显著正相关。可能的原因是,岩溶石山的土壤偏酸性,土壤的磷酸易与铁、铝离子结合成不溶物而被固定,导致土壤中



注:SWC. 土壤含水量;pH. 酸碱度;SOM. 有机质;TP. 全磷;AK. 全钾;AP. 有效磷;TK. 有效钾。* 表示显著相关; ** 表示极显著相关

Note:SWC. Soil water content;pH. Power of hydrogen;SOM. Soil organic matter;TP. Total phosphorus;TK. Total potassium;AP. Available phosphorus;AK. Available potassium. * indicated significant correlation; ** indicated extremely significant correlation

图2 土壤理化性质的相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of physical and chemical properties of soil

有效磷含量减少,且被固定下的不溶物易被桂林丰富的降水侵蚀,导致土壤全磷含量减少^[25]。土壤有效磷与土壤含水量呈显著正相关,表明土壤水分有利于有效磷的积累。

综上所述,岩溶石山青冈栎群落的土壤环境存在明显差异,如土壤表层温度、土壤微生物种类不同,导致不同青冈栎群落样地的土壤理化性质存在较明显的差异。而岩溶石山的土壤理化性质也存在较明显的相关性。可利用土壤的相关性关系,合理调控岩溶石山土壤养分和土壤pH,改善岩溶石山土壤生态系统和植被恢复。

参考文献

[1] GOIDTS E, VAN WESEMAEL B. Regional assessment of soil organic carbon changes under agriculture in Southern Belgium (1955–2005) [J]. *Geoderma*, 2007, 141(3): 341–354.

[2] 宋丰骥, 常庆瑞, 钟德燕. 黄土高原沟壑区土壤养分空间变异及其与地形因子的相关性[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2011, 39(12): 166–172, 180.

[3] 赵丽娟. 中亚热带石栎—青冈群落结构特征及影响因子研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.

[4] 程勇, 吴际友, 刘球, 等. 氮磷钾施肥配比对青冈栎幼苗生长的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(6): 71–74.

[5] 盘远方, 陈兴彬, 姜勇, 等. 桂林岩溶石山植物群落植物功能性状对不同坡向环境因子的响应[J]. *广西植物*, 2019, 39(2): 189–198.

[6] 卜文圣, 臧润国, 丁易, 等. 海南岛热带低地雨林群落水平植物功能性状与环境因子相关性随演替阶段的变化[J]. *生物多样性*, 2013, 21(3): 278–287.

[7] 黄冬柳, 梁士楚, 姜勇. 桂林岩溶石山青冈种群数量动态[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(3): 663–671.

[8] 胡刚. 桂林岩溶石山青冈栎群落生态学[D]. 桂林: 广西师范大学, 2007.

[9] 李月娟, 李娇凤, 常斌, 等. 桂林岩溶石山青冈群落植物功能性状的尺度变化与关联[J]. *生态学报*, 2019, 39(15): 5555–5563.

[10] 盘远方, 陈兴彬, 姜勇, 等. 桂林岩溶石山灌丛植物叶功能性状和土壤因子对坡向的响应[J]. *生态学报*, 2018, 38(5): 1581–1589.

[11] 李扬, 王冬梅, 信志保. 漓江水陆交错带植被与土壤空间分异规律[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(6): 121–128.

[12] 李龙, 姚云峰, 秦富仓. 黄花甸子流域土壤全氮、速效磷、速效钾的空间变异[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(2): 373–379.

[13] 尚晓娜, 宋平顺, 杨锡, 等. 甘肃不同地域甘草有效成分含量与土壤因子关系的研究[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(28): 245–249.

[14] 庞成庆, 秦江涛, 李辉信, 等. 秸秆还田和休耕对赣东北稻田土壤养分的影响[J]. *土壤*, 2013, 45(4): 604–609.

[15] 孙娇, 赵发珠, 韩新辉, 等. 不同林龄刺槐林土壤团聚体化学计量特征及其与土壤养分的关系[J]. *生态学报*, 2016, 36(21): 6879–6888.

[16] 康勇, 熊梦辉, 黄瑾, 等. 海南岛霸王岭热带云雾林木本植物功能性状的分异规律[J]. *生态学报*, 2017, 37(5): 1572–1582.

[17] 范夫静. 西南峡谷型喀斯特典型坡地土壤属性空间变异特征[D]. 南昌: 江西农业大学, 2014.

[18] PETTIGREW W T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton[J]. *Physiologia plantarum*, 2008, 133(4): 670–681.

[19] CONDE C, SILVA P F, FONTES N, et al. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality [J]. *Food*, 2007, 1(1): 1–22.

[20] 闫慧峰, 石屹, 李乃会, 等. 烟草钾素营养研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2013, 15(1): 123–129.

[21] 吴晨媛. 庐山土壤有机质与速效钾的关系[J]. *现代农业科技*, 2018(11): 186–187.

[22] 白军红, 高海峰, 肖蓉, 等. 向海湿地不同植物群落下土壤有机质和全磷的空间分布特征[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2011, 27(1): 31–34.

[23] 刘昕, 靖淑慧, 冯若昂, 等. 黄河三角洲土壤钾对植物群落的响应研究[J]. *科技资讯*, 2017, 15(3): 108–110, 112.

[24] 董艳红, 王火焰, 周健民, 等. 不同土壤钾素淋溶特性的初步研究[J]. *土壤*, 2014, 46(2): 225–231.

[25] 邱燕, 张鼎华. 南方酸性土壤磷素化学研究进展[J]. *福建稻麦科技*, 2003(3): 14–17.