

法医物证 DNA 自动化检验技术的有效运用

李昱陶¹, 成艳春², 张瑞冬¹, 张胜¹, 武斐斐¹

1. 山西省阳泉市公安局刑事技术处, 山西 阳泉 045000

2. 新疆巴音郭楞蒙古自治州公安局, 新疆 巴州 841000

摘 要 : DNA 自动化检验技术具有高度的准确性, 在刑事案件的侦破中具有重要的作用。随着科学技术的不断进步, DNA 检测技术已经从传统的手工操作逐步转向自动化, 极大地提高了检测效率, 为司法公正与犯罪打击提供了有力的科技保障。本文探讨 DNA 自动化检验技术的使用价值, 该技术还在亲子鉴定、医疗事故案件处理、边境检查等领域得到了广泛应用, 为司法实践提供了科学依据。介绍 DNA 检验技术的具体应用方法, 要求优化检测样本的选取, 选择适宜的试验仪器, 详细进行每一项检测步骤。在司法实践中, DNA 自动化检验技术具有显著的运用优势, 能够推进我国司法公正, 打击犯罪。

关 键 词 : 法医物证; DNA 技术; 自动检测; 样本分析

Effective Application of Automated DNA Testing Technology in Forensic Evidence

Li Yutao¹, Cheng Yanchun², Zhang Ruidong¹, Zhang Sheng¹, Wu Feifei¹

1. Criminal Technology Department of Yangquan Public Security Bureau, Yangquan, Shanxi 045000

2. Xinjiang Bayingolin Mongolian Autonomous Prefecture Public Security Bureau, Bazhou, Xinjiang 841000

Abstract : DNA automated testing technology has high accuracy and plays an important role in the investigation of criminal cases. With the continuous advancement of science and technology, DNA testing technology has gradually shifted from traditional manual operation to automation, greatly improving detection efficiency and providing strong technological support for judicial fairness and crime crackdown. This article explores the value of DNA automated testing technology, which has been widely used in fields such as paternity testing, medical accident case handling, and border inspections, providing a scientific basis for judicial practice. Introduce the specific application methods of DNA testing technology, require optimization of sample selection, selection of suitable testing instruments, and detailed implementation of each testing step. In judicial practice, DNA automated testing technology has significant advantages in application, which can promote judicial fairness and combat crime in China.

Keywords : forensic evidence; DNA technology; automatic detection; sample analysis

当前刑事案件的类型多样, 案件侦破难度增加。为了营造良好的社会治安环境, 当前案件侦破的技术手段也随之升级, 在生物技术检测层面逐渐运用 DNA 自动化检验技术, 在犯罪现场生物检材信息的搜集层面要求保持高度的谨慎, 保证在收集过程中不发生交叉污染。DNA 技术人员对现场收集到的毛发、分泌物等进行 DNA 检测, 对案件侦破具有决定性意义, 为刑警人员提供强有力的证据支持。基于 DNA 检验结果, 刑警人员能够精确地锁定嫌疑人身份, 快速找到案件突破口, 推动案件侦破工作的顺利进行。

一、DNA 自动化检验技术的使用价值

(一) 促进案件的分析与侦破工作

强奸杀人案、强奸案、凶杀案等恶性案件处理中, 运用 DNA 自动化检验技术对现场遗留的毛发、烟头、精液斑、血迹、人体

组织样本进行 DNA 鉴定, 根据鉴定结果, 排除案件的可能嫌疑人, 锁定最终的侦破对象。在涉及多个尸块案件的处理中, 技术人员将收集到的信息与疑似信息进行匹配。在焚烧、烹油炸尸、抛尸入水等各种方式处理中, 甄别两个尸块是否来源于同一尸体。对年限不超过 20 年的尸骨进行 DNA 鉴定。在重大火灾、交

作者简介: 李昱陶 (1990-), 女, 汉族, 籍贯: 山西平遥, 研究方向: DNA 鉴定;
成艳春 (1983-), 女, 汉族, 籍贯: 甘肃省张掖, 研究方向: DNA 鉴定;
张瑞冬 (1989-), 男, 汉族, 籍贯: 山西昔阳, 研究方向: DNA 鉴定;
张 胜 (1988-), 男, 汉族, 籍贯: 山西忻州, 研究方向: DNA 鉴定;
武斐斐 (1994-), 女, 汉族, 籍贯: 山西阳泉, 研究方向: DNA 鉴定。

通肇事案等事故中，对物证进行 DNA 检测，得出定肇事车辆与尸源身份。在处理离婚案件中，对婴儿抱错案进行 DNA 鉴定。对长期离散的子女进行 DNA 鉴定。在儿童拐卖案侦破中，结合 DNA 鉴定技术找寻被拐卖儿童的父母。利用 DNA 技术识别罪犯指纹，建立罪犯基因库。在相关案件分析中，对流窜作案罪犯进行打击^[1]。

（二）促进生物检材的鉴定与人员查找

在对犯罪现场的信息搜集过程中，DNA 技术可以检测现场的指纹、皮肤组织等生物物证。在收集相关样本信息的基础上，比对嫌疑人的 DNA 样本与现场遗留的生物物证，准确地确认罪犯身份。在进行骨髓移植手术后，利用 DNA 检测确认移植是否成功。检测供体和受体之间的 DNA 匹配程度，分析移植后骨髓细胞的存活情况。在样本检测过程中进行持续的 DNA 监测，及时处理排斥反应等问题。在医疗事故案件中，DNA 技术能够辅助确认受害者身份。比对受害者的 DNA 样本与医疗记录中的样本，验证受害者的身份，为受害者提供法律支持。DNA 技术可以用于亲子鉴定，解决家庭纠纷与财产继承等问题。在实际运用过程中，比对父母和子女的 DNA 样本，判断亲子关系的真实性。在边境检查、重要设施的安全管理等场合中，DNA 技术也可以用于身份认证。比对个体的 DNA 样本与数据库中的记录，实现对身体的精准识别^[2]。

（三）防范犯罪行为的发生

当前我国利用 DNA 分析技术构建大规模的基因数据库，促进相关信息的快速比对。随着生物信息学的发展，DNA 分析技术已经非常成熟，对潜在犯罪分子具有一定的威慑作用。将得到的 DNA 生物信息与数据库中的信息进行匹配，若在数据库中匹配到相应的人员，即可实现快速的犯罪人员定位。在利用基因数据库防范犯罪行为的同时，要求加强社会治理和犯罪预防工作，利用教育、就业、心理咨询等多种手段，减少犯罪的发生^[3]。

二、DNA 检验技术的应用

（一）优化检测样本的选取

提取脱落细胞毛发、组织样本等生物检材，将全部的生物信息放入 1.5ml 离心管中，按照不同的对象与检测方式进行标号，标注样本类型、来源、提取日期等信息。将标注好的离心管整齐地放置在 U 型管架上，在处理样本时，避免样本污染。对不同类型的样本，根据特性与检验需求确定合适的用量。

在离心处理之后，对得到的样本开展离心裂解处理，在大量的样本信息中去掉无用的信息内容，得出最终的有用信息。对有用的信息进行甄别，使用 3~5 根纱线量处理提取到的血液样本。运用 FTA 滤纸对样本进行进一步处理，保持样本生物信息，提取样本中的 DNA 信息，结合 DNA 信息，与可能的犯罪嫌疑人进行匹配，进行人员的确定与排除^[4]。

（二）利用检测仪器促进 DNA 分析

在 DNA 自动化检测技术的运用之下，利用自动化工作站减少人为操作带来的误差。当前有效的自动站有选用 75-2 型自动化工作站、100-4 型自动化工作站等，具备高度的自动化，能够处理大量的样本，保证提取的 DNA 质量。在选择自动化工作站后，

在工作站系统中加载工作站—磁珠法程序等适合的工作程序。磁珠法为一种高效的 DNA 提取方法，利用磁珠与 DNA 的特异性结合，实现 DNA 的快速提取。在加载磁珠法程序中可以自动完成样本的加样、磁珠结合、洗涤、洗脱等步骤，大大提高 DNA 提取的效率。在 DNA 提取完成后，进行 DNA 扩增反应。选择 AB-9700 型 PCR 仪等 DNA 扩增仪器，准确控制扩增反应的温度、时间，处理多个样本，提高实验效率^[5]。

（三）精准确定每一项检验步骤

根据检测需求，将每一项检测步骤输入至检测程序之中，在自动化检测系统之中有所体现。将收集到的生物检材利用 Chelex 方式进行处理，将每一项步骤体现在 DNA 检验程序之中，完成全部的检测工作。Chelex 为一种常用的 DNA 提取试剂，能够高效地从各种样本中提取 DNA。在 Chelex 方式运行下，对得到的样本进行扩增反应处理，选用的检测仪器为 AB-9700 型 PCR 仪，在检测过程中，结合综合分析的需要，调整检测步骤，适当增加 DNA 片段数量。将数据样本输入至 STR-检案自动程序之中，对样本信息进行自动分析。自动化程序能够完成 STR 的检测工作，对检测结果进行分析，得出最终的 DNA 信息。将 DNA 双链打开成单链的过程，促进 STR 位点的准确检测。利用 STR-检案自动程序和毛细管电泳检测的结合，精准分析 DNA 样本^[6]。

在 DNA 自动化检验技术运用中，将收集的精斑样本置入 96 孔的 U 型板中。若精斑中混入女性上皮细胞，先进行细胞裂解步骤，将女性上皮细胞去掉。完成裂解后，实施离心处理，取上清液备用。使用 3~5 根长 3mm 的纱线蘸取血迹样本。选取带有毛囊，长度为 3mm 的毛发样本。取 1~2 片 1mm 厚度的肋软骨切面作为样本，烟蒂含有至少 1/3 圈口端的烟纸。使用 3mm 长度的 3~5 根纱线擦拭指甲表面，收集样本。按照 Chelex 流程，设置“DNA-Chelex”自动提取程序，提取各类受检材料的 DNA。按照 PCR 操作流程，构建“PCR-Chelex”自动程序，设置 PCR 反应体系，使用 AB-9700 型号仪器进行扩增。按照 STR 操作流程，设置 STR 检测体系。使用 AB3130 型号仪器进行 STR 检测^[7]。

（四）利用 Y 染色体进行检测分析

当在某些案件中观察到父子间基因座上出现少数不符合遗传规律的现象时，常规鉴定工作存在一定的难度。在鉴定中可以进行 Y 染色体遗传标记检测。Y 染色体为男性特有的染色体，Y 染色体上的遗传标记有 Y-STR，即 Y 染色体短串联重复序列，在亲子鉴定中具有独特的价值。由于 Y 染色体仅从父亲传递给儿子，因此，在父子、兄弟等男性被鉴定人之间进行 Y 染色体遗传标记的检测，可以提供额外的遗传信息，验证、排除亲子关系。在司法鉴定工作中，当遇到常染色体基因座不符合遗传规律的情况，被检个体为男性时，补充检验 Y 染色体遗传标记。Y-STR 检测在排除嵌合体干扰方面也具有重要作用。在亲子鉴定中，如果可疑父亲与儿子的 Y-STR 不一致，理论上可以排除嵌合体干扰鉴定结果的可能性，嵌合体一般只涉及常染色体，不影响 Y 染色体的遗传。在祖孙鉴定、同胞鉴定等男性被鉴定人之间的鉴定时，Y 染色体遗传标记检测提供额外的遗传信息，辅助分析解释检测结果，准确判断亲缘关系。

（五）强化检测结果的数据分析

根据信息数据档案，对提取出的样本 DNA 进行比对。比对过程中，关注 DNA 序列的特异性。分析统计样本间的相似度、差异度与可能的遗传关系。若发现异常、疑似污染的情况，立即进行复查。在进行数据处理时，U 型板孔洞若处于敞口状态，可增加样本污染的风险。因此，在使用 U 型板时，保证孔洞处于闭合状态，减少外界污染的可能性。在操作前对工作环境进行彻底清洁，在操作后立即封闭孔洞。为避免样本的交叉感染，对样本 DNA 进行多次短串联重复序列 STR 检测。每次检测使用独立的试剂^[8]。

对 328 例生物样本进行检测分析，毛发样本、软骨样本、血迹样本、组织样本、精斑样本分别为 66 例、30 例、120 例、67 例、42 例。血迹样本检测成功率中，手工检验组为 90.83%（109/120），自动化检验组为 92.50%（111/120），自动化检验组在血迹样本的检测上相对较高，但两者差距不大。毛发样本手工检验组为 86.36%（57/66），自动化检验组为 90.91%（60/66），自动化检验组在毛发样本的检测上表现出更高的成功率。手工检验组检测成功率为 89.55%（60/67），自动化检验组为 92.54%（62/67），自动化检验组在组织样本的检测上优于手工检验组。软骨样本手工检验组检测成功率为 90.91%（30/33），自动化检验组为 93.94%（31/33），自动化检验组在软骨样本的检测上成功率也更高。

在精斑样本的检测中，手工检验组检测成功率为 92.86%（39/42），自动化检验组为 95.24%（40/42），自动化检验组在精斑样本的检测上表现出更高的成功率。手工检验组总检测成功率为 89.94%（295/328），自动化检验组为 92.68%（304/328），可见自动化检验组的总检测成功率明显高于手工检验组。所有样本类型的 χ^2 值均较大，p 值均为 0.001，自动化检验组与手工检验组在各类样本检测成功率上的差异均具有统计学意义上的显著性。由此得出自动化检验组在各类生物样本的检测中均表现出更高的成功率，差异在统计学上具有显著性。自动化检验技术具有更高的精度，检测较为快速，能够有效减少人为检测层面的误差。检测完成之后，对比样本检测时间，送检时间在 24 小时内，自动化组平均检测时间（ 2.12 ± 0.83 ）小时，检测时间显著短于手工组，差异具有高度统计学意义。送检时间为 48 小时时，自动化组平均检测时间（ 3.65 ± 0.87 ）小时，依然显著短于手工组，差异具有统计学意义。送检时间为 72 小时时，自动化组平

均检测时间（ 4.09 ± 0.56 ）小时，显著短于手工组，差异具有高度统计学意义。送检时间为 96 小时时，自动化组平均检测时间（ 4.38 ± 0.69 ）小时，短于手工组，差异具有统计学意义。因此可见，在所有送检时间下，自动化组的检测时间均显著短于手工组。t 值均较大，p 值均为 0.001，两组之间的差异具有统计学意义。自动化检测技术在提高检测效率方面具有显著优势^[9]。

三、DNA 检测技术运用的原理

DNA 检测技术运用中，短串联重复序列 STR 具有重复序列的特点，因此 STR-PCR 技术成为法医物证检验中的有效工具之一。STR 碱基数量较少，利用 STR-PCR 技术可以快速扩增目标 DNA 片段。STR-PCR 技术对时间较久的样本也具有较高的鉴定准确性。STR 的重复序列特性使得即使 DNA 发生部分降解，仍然有足够的 STR 片段可供比对。单核苷酸分析技术能够检测单个核苷酸的变异情况，识别 DNA 序列的变化，对腐败物证样本的检验具有重要的运用价值，能够稳定地传导遗传物质，即使在样本受到严重破坏的情况下也能提供可靠的遗传信息。线粒体是人体细胞中的构成之一，含有遗传物质——线粒体 DNA（mtDNA）。线粒体 DNA 的提取相对容易，可以从指甲、毛发等多种类型的样本中提取。线粒体 DNA 具有遗传特性，成为法医物证检验中的理想选择，即使在样本量有限的情况下，也能获得可靠的遗传信息。线粒体技术在确定嫌疑人身份方面发挥着重要作用。在案件侦破中，法医采用 DNA 自动化检验技术，可以高效地对毛发样本、软骨样本、血迹样本、组织样本、精斑样本等多种生物样本进行 DNA 检验，为刑侦部门破获案件提供强有力的技术支持^[10]。

四、结束语

DNA 自动化检验技术为现代法医学的重要组成部分，在案件侦破、生物检材鉴定与人员查找等方面展现出了巨大的应用价值。在刑侦案件侦破中，进行 DNA 检测能够迅速锁定犯罪嫌疑人，推进案件的侦破进程。DNA 自动化检验技术在各类生物样本的检测中均表现出更高的成功率，检测时间显著短于手工检验组，自动化检验技术具有速度优势，在法医学领域具有广泛应用前景。

参考文献

- [1] 王龙, 张冰, 杨东高. 法医物证领域中亲子鉴定应用实践 [J]. 东方文化周刊, 2023: 157-159.
- [2] 郭长城, 杨坤, 李开敏, 等. 法医物证 DNA 自动化检验技术的有效运用分析 [J]. 中国科技期刊数据库 医药, 2023(3): 4.
- [3] 樊璠. DNA 自动化检验技术在法医物证检验中的应用研究 [J]. 楚天法治, 2023(17): 0209-0211.
- [4] 朱永生, 周雅婷, 寻兮, 等. 基于 VR 技术的 PBL 混合教学模式在法医物证学教学中的探索 [J]. 中国医学教育技术, 2023, 37(04): 433-437.
- [5] 李焯. 接触性 DNA 检验联合新技术新方法在 multicase 案件中的应用 [J]. 广东公安科技, 2023, 31(01): 59-60.
- [6] 王紫薇, 李成涛, 刘希玲. DNA 甲基化年龄推断模型在华东汉族人群中的跨平台应用 [J]. 法医学杂志, 2023, 39(05): 441-446.
- [7] 张卫萍, 阿地来·吐尔逊, 冯巍, 等. HRM 技术在非人源性法医物证检测中的应用 [J]. 中国法医学杂志, 2022, 37(03): 243-245+250.
- [8] 许炎, 曹禹, 郝思静, 等. 重组酶聚合酶扩增技术在现场物证唾液鉴定中的应用 [J]. 中国司法鉴定, 2022, (06): 57-60.
- [9] 苗春雨, 李甫, 徐磊, 等. 4454 例盗窃案件 DNA 比中关系的统计分析 [J]. 刑事技术, 2022, 47(03): 322-326.
- [10] 张博源, 王颖希, 赵蕾, 等. 基于微流控芯片的 InDel 快速族群推断体系研究 [J]. 生物化学与生物物理进展, 2022, 49(8): 1564-1572.