

Version 2

Code No. AG12572

AG12573

AccuNext MNase 核小体 DNA 文库制备 试剂盒

AccuNext MNase-mediated Nucleosome DNA Fragmentation Kit

本产品仅供科学研究使用，不能用于人、动物的医疗或诊断程序，不能使用本产品作为食品、化妆品或家庭用品等。

For Research Use Only. Not for use in diagnostic procedures for humans or animals. Also, do not use this product as food, cosmetic, or household item, etc.



目录

➤ 产品概述	1
➤ 产品组成	1
➤ 保存及运输	2
➤ 实验原理及流程	2
➤ 产品优势	3
➤ 使用注意事项	3
➤ 实验前准备	4
➤ 操作方法	5
A. Cell Lysis Buffer 配制	5
B. 细胞核提取	5
C. MNase Enzyme 片段化	5
D. DNA 纯化	6
E. DNA 质量检测	7
F. DNA 文库构建	7
(一) 末端修复 / dA 尾添加	7
(二) 接头连接	8
(三) 连接产物纯化	9
(四) PCR 文库扩增	10
(五) 文库纯化	10
G. DNA 质量检测	11
➤ 实验例	12
➤ 附录 1: MNase Enzyme 滴定实验	14

➤ 产品概述

本产品是以微球菌核酸酶（Micrococcal Nuclease, MNase）为基础研发的试剂盒，适用于核小体定位与占位分析、基因转录调控机制研究、表观遗传与染色质重塑研究、疾病机制探索、进化与发育生物学应用等方面。本产品样本起始量可低至 $10^4 \sim 10^5$ 个细胞。

它利用微球菌核酸酶的特性，选择性消化裸露的 DNA，保留核小体（nucleosome）包裹的 DNA 片段，便于后续建库与高通量测序分析。

本产品的反应体系经过精心优化，所有试剂请使用本产品中提供的，不建议改变任何反应组分或使用其他的等效产品替换本产品中组分，以免获得不良的实验结果。如需替换，请先进行验证。

➤ 产品组成

Package 2-1 组分如下（4℃ 保存）：

组分名称	AG12572 (4 rxns)	AG12573 (12 rxns)
DNA Clean Beads	540 μ l	1.7 ml

Package 2-2 组分如下（-20℃ 保存）：

组分名称	AG12572 (4 rxns)	AG12573 (12 rxns)
RNase A (10 mg/ml)	6 μ l	20 μ l
Proteinase K (20 mg/ml)	20 μ l	60 μ l
Lysis Buffer	200 μ l	600 μ l
Wash Buffer I	1 ml x 2 pcs	1.5 ml x 4 pcs
1% Digitonin	4 μ l	12 μ l
Dilution Buffer	300 μ l	1 ml
MNase Enzyme (200 U/ μ l)	4 μ l	12 μ l
Exonuclease III Enzyme (5 U/ μ l)	4 μ l	12 μ l
MNase Digestion Buffer	200 μ l	600 μ l
MNase Stop Buffer	24 μ l	75 μ l
10% SDS	24 μ l	75 μ l
Nuclease free water	1 ml	1 ml x 2 pcs

注意：建议使用 *AccuNext* DNA 文库制备试剂盒（Illumina）（Code No. AG12535 / AG12536）进行后续建库，同时可搭配购买 *AccuNext* CD1 接头引物（Illumina，适用于 DNA 文库）（Code No. AG12529 / AG12530 / AG12531）、*AccuNext* 短接头引物（Illumina，适用于 DNA 文库）（Code No. AG12537 / AG12538）。

➤ 保存及运输

保存温度：Package 2-1 4℃ 保存（避免冻结）

Package 2-2 -20℃ 保存

运输温度：Package 2-1 冰袋运输

Package 2-2 干冰运输或-20℃冰袋运输

稳定性：未开封试剂有效期 12 个月，开封后按组分要求保存（如 MNase Enzyme (200 U/μl) 分装后 -20℃ 保存 ≤ 6 个月）。

➤ 实验原理及流程

本产品利用 MNase 切割染色质并获得核小体的能力，切割染色质上未被组蛋白保护的核小体区域，在 Proteinase K 的作用下消化组蛋白，经纯化后获得核小体 DNA，所获得的 DNA 片段不仅包含单核小体 DNA（~150 bp），还包含少量双核小体或多核小体 DNA。经过文库制备后得到的建库产物可用于测序。

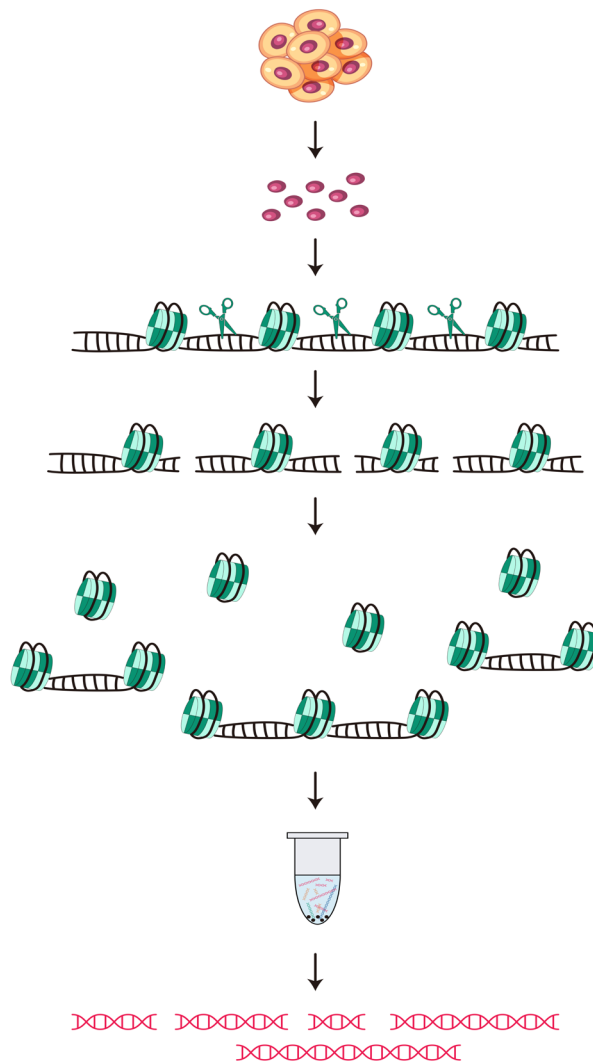


图 1：实验原理图

➤ 产品优势

1. 高特异性：MNase Enzyme 精准消化裸露 DNA，保留完整核小体 DNA 片段（~150 bp 大小的单体峰显著）。
2. 双酶协同消化：MNase Enzyme + Exonuclease III Enzyme 联合使用，减少背景噪音，提升核小体定位分辨率。
3. 全流程优化：预混缓冲液确保消化效率，DNA Clean Beads 纯化替代酚氯抽提，操作更安全、纯化回收率更高。

➤ 使用注意事项

1. 防污染要求

- ❖ 实验过程中，要穿实验服、戴一次性的口罩和手套防止污染。
- ❖ 本产品中的试剂，应保存在无核酸酶和核酸污染的环境中，避免试剂被污染。
- ❖ 要避免与其他实验的交叉污染。建议将实验区分区：试剂配制区（建议设置无菌正向气流）、模板添加区、PCR 扩增区、产物纯化区和电泳检测区。
- ❖ 实验过程中要避免讲话，每次实验前后使用 70% 酒精擦拭清洁实验台面。实验过程中小心轻柔地打开和关闭样品管盖，避免样品飞溅或喷洒。若样品飞溅至手套，建议更换手套；若喷洒至桌面，立即用水或 70% 的酒精擦拭。

2. 细胞要求

- ❖ 本产品适用于 $10^4 \sim 10^5$ 个细胞起始量的样本建库，因不同类型细胞及不同阶段的细胞染色质开放情况存在差异，因此，如果细胞量不受控制，建议使用 $5 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$ 个细胞进行实验，以获得较好的实验结果。
- ❖ 原则上，所有的细胞类型均适用本产品，但本产品配制的细胞裂解液（Lysis Buffer）适用于哺乳动物细胞核分离，如果是组织样本、植物或真菌细胞，建议先通过合适的方法获得原生质体或细胞核，再使用本产品进行后续实验。
- ❖ 实验前，需要确认细胞活力，死亡的细胞由于内源性核酸酶被激活、染色质结构改变及核膜完整性受损，其 MNase 消化结果通常不如活细胞理想，表现为：DNA 降解严重、核小体 ladder 模糊、背景噪音高。故建议样品细胞的活性不低于 95%（细胞活性可以用台盼蓝染色来鉴定），以确保实验成功率和重复性。

3. 分离细胞核

- ❖ 分离细胞核时，需要注意避免细胞核丢失，离心时可对管壁做标记并统一方向离心，弃上清时沿着沉淀的反方向吸取，不要吸干液体。

- ❖ 处理细胞或细胞核时，吹打要轻柔，不要剧烈振荡，尽量不要起气泡，避免气泡破裂时损伤细胞核。

4. MNase Enzyme 酶量选择

- ❖ 表 1 是 K562 细胞与 MNase Enzyme 酶量的关系表，具有一定参考性，但因不同细胞对 MNase Enzyme 的敏感性不一样，染色质的凝集程度不同，建议通过预实验进行滴定以确定最佳酶量。
- ❖ 具体方案详见<附录 1: MNase Enzyme 滴定实验>。

表 1. MNase Enzyme 推荐表

起始细胞量	MNase Enzyme
1×10^5	200 U/ μ l * 1 μ l
5×10^4	100 U/ μ l * 1 μ l
1×10^4	60 U/ μ l * 1 μ l

5. DNA Clean Beads 的使用

- ❖ DNA Clean Beads 使用前应先平衡至室温，否则会导致回收率下降。
- ❖ DNA Clean Beads 使用前应当充分振荡混匀，DNA 样品加入 DNA Clean Beads 后应保证与 DNA Clean Beads 充分混匀。
- ❖ 吸取上清时，应避免吸到 DNA Clean Beads，以免影响文库质量。
- ❖ 80%乙醇应现用现配，避免乙醇浓度降低而影响回收。
- ❖ DNA Clean Beads 经 80%乙醇洗涤后，若干燥不充分会影响后续反应，干燥过度又会导致 DNA Clean Beads 开裂而降低产物回收率。

➤ 实验前准备

1. 试剂 & 耗材：

- ❖ DNA 评价：AcuQ 1X dsDNA（高灵敏度）定量试剂盒（Code No.AG12549 / AG12550）或其他等效产品。
- ❖ 其他材料：0.2 ml RNase-free PCR 管，1.5 ml 离心管等。

2. 仪器：

- ❖ 离心机、光学显微镜、水浴锅、Qubit 荧光计、涡旋振荡仪、桌面离心机、移液器。

➤ 操作方法

- 提前将 Lysis Buffer、1% Digitonin、Wash Buffer I、MNase Digestion Buffer、10% SDS 室温解冻，混匀后短暂离心。实验期间，10% SDS、1% Digitonin 可室温放置，如有沉淀可室温或 37°C 加热溶化，混匀后使用。
- 将离心机提前预冷到 4°C。

A. Cell Lysis Buffer 配制

按照下表配制 Cell Lysis Buffer^a，配好后用移液器吹打混匀，放置于冰上备用。

组分	体积
Lysis Buffer	49.5 μ l
1% Digitonin	0.5 μ l
Total	50 μ l

^a: 含有 Digitonin 的 Cell Lysis Buffer 不可长期保存，建议现配现用。

B. 细胞核提取

- 在室温下收集细胞，使用对应的培养基清洗细胞一次，进行细胞计数。
- 取实验所需数量的细胞于 1.5 ml 离心管中，2300 rpm (500 x g) 4°C 离心 5 min，弃上清。(注意：细胞量较少时，可能看不到细胞沉淀，为避免弃上清时吸到细胞，离心前可在离心管底部做标记，吸上清时，沿着管壁，在沉淀的反方向吸取，并保留少量液体。)
- 加入 50 μ l Cell Lysis Buffer，轻轻吹打混匀，冰上放置 5 min。
- 加入 500 μ l Wash Buffer I，轻轻吹打混匀，冰上放置 5 min。
- 2300 rpm (500 x g) 4°C 离心 5 min，弃上清 (可先用 1 ml 的移液器去除 450 μ l 上清，然后使用 100 μ l 移液器去除 95 μ l 上清，保留不超过 5 μ l 的液体)。
- 加入 48 μ l MNase Digestion Buffer 重悬细胞核沉淀。

C. MNase Enzyme 片段化

- 所需用的试剂在冰上解冻。融化后，短暂离心，轻柔混匀后放置在冰上备用。其中 MNase Enzyme (200 U/ μ l) 需根据细胞量、细胞类型等因素 (可参考表 1. MNase Enzyme 推荐表)，稀释到合适酶量后使用。
 - 为保证反应时间的准确性，水浴锅需提前预热到所需温度后再加酶液。
- 冰上加入 1 μ l MNase Enzyme 和 1 μ l Exonuclease III Enzyme (5 U/ μ l) 到装有 < B. 细胞核提取 > 重悬溶液的离心管管壁上，轻柔振荡或上下颠倒 10 次混匀并瞬离。
 - 注意：使用 Dilution Buffer 将 MNase enzyme (200 U/ μ l) 稀释至合适酶量。

- ✚ 若是单个样品、且冰上快速操作，可直接将酶液加至重悬液中；但若是多个样品，需打在离心管管壁上，因为 MNase Enzyme 酶活较强，2 min 的时间误差就可能会导致实验结果的差异，且冰上或 4°C 低温并不能完全停止反应。
- 2. 放入 37°C 水浴锅开始计时，反应 10 min (需精确计时)，反应结束后必须立即拿出并插在冰上，急剧降温以减缓 MNase Enzyme 的反应效率。
- 3. 立即加入 6 μ l MNase Stop Buffer 以终止 MNase Enzyme 反应。
- 4. 加入 1.5 μ l RNase A 至反应液中，轻柔振荡或上下颠倒 10 次混匀并瞬离；放入 45°C 水浴锅中，反应 30 min。
- 5. 反应结束后，加入 6 μ l 10% SDS 和 5 μ l Proteinase K 至反应液中，轻柔振荡或上下颠倒 10 次混匀并瞬离；放入 65°C 水浴锅中，反应 15 min。
- 6. 反应结束后，取上述反应液 67.5 μ l 转至 0.2 ml RNase-free PCR 管中。

D. DNA 纯化

实验前准备：

- ✚ 每次实验前，可根据实验量，配制新鲜的 80% 乙醇溶液，每个样品需要 400 μ l。
- ✚ 实验前，将恢复至室温 (15 ~ 25°C) 的 DNA Clean Beads 充分涡旋振荡混匀约 5 min。

实验步骤：

1. 添加 135 μ l DNA Clean Beads 至 67.5 μ l 片段化产物中 (DNA Clean Beads : DNA=2 : 1)，涡旋混匀或移液器吹打混匀 10 次，室温静置孵育 5 min。
2. 短暂离心，将 PCR 管置于磁力架上，待溶液澄清后 (约 2 ~ 5min)，小心移除上清 (勿吸到 DNA Clean Beads)。
3. 保持 PCR 管始终处于磁力架中，加入 200 μ l 80% 乙醇漂洗 DNA Clean Beads，室温孵育 30 sec 后小心移除上清。
4. 重复步骤 3 一次。
5. 保持 PCR 管始终置于磁力架上，开盖干燥 DNA Clean Beads 3 ~ 5 min 至无乙醇残留。
✚ 无乙醇残留时，DNA Clean Beads 表面无光泽且管壁上无明显液体；如果乙醇未干燥完全，可能会影响 DNA 的洗脱效率及影响下游实验。但注意不要过分干燥 DNA Clean Beads，避免 DNA Clean Beads 表面开裂，降低 DNA 洗脱效率。
6. 将 PCR 管从磁力架中取出，加 28 μ l Nuclease free water 洗脱。使用移液器轻轻吹打充分混匀，室温静置孵育 5 min。
7. 将 PCR 管短暂离心，置于磁力架上，待溶液澄清后 (约 2 ~ 5min)。

- 小心转移 27 μ l 上清至低吸附 tube 管中 (勿吸到 DNA Clean Beads), -20°C 保存或继续进行文库构建。

E. DNA 质量检测

- 使用 Qubit 荧光计和 *AccuQ* 1X dsDNA (高灵敏度) 定量试剂盒 (Code No. AG12549 / AG12550) 检测浓度, 具体操作请参照说明书。
- 反应结束后, 取适量纯化产物进行琼脂糖凝胶电泳, 成功的实验结果会呈现 ladder 状条带。

F. DNA 文库构建

以本公司接头法 DNA 建库试剂盒 *AccuNext* DNA Library Prep Kit for Illumina (Code No. AG12535 / AG12536) 为例, 对提取获得的 DNA 进行文库构建。如果使用其他 DNA 建库产品, 需要先摸索条件。

(一) 末端修复 / dA 尾添加

- ✚ 将此步骤所用的试剂在冰上融化。融化后, 短暂离心, 混匀后放置在冰上备用。其中 End Repair Enzyme Mix 用移液枪轻柔吹打混匀, 请勿涡旋。其余试剂可轻柔涡旋混匀。

- ✚ 10X End Repair Buffer 可能会形成沉淀, 使用前请振荡混匀使沉淀充分溶解。

- 在冰上配制末端修复 / dA 尾添加反应液:

组分	反应体系
10X End Repair Buffer	6 μ l
End Repair Enzyme Mix	2 μ l
上述纯化后 DNA ^{*a}	15 ~ 20 μ l
Nuclease free water	Up to 60 μ l

*a: 推荐 DNA 加入量是 15 ~ 20 μ l, 如果细胞量在 50000~500000 范围内, **<D.DNA 纯化>**后可取 5 μ l 样本进行琼脂糖凝胶电泳, 判定前面实验是否成功 (此步骤非必需, 且细胞量较少时, 可能看不到电泳条带)。

- 使用移液枪轻柔吹打混匀, 短暂离心, 立即放入 PCR 仪中进行反应。反应程序如下 (可提前设置反应程序):

温度	时间
20 $^{\circ}\text{C}$	30 min
65 $^{\circ}\text{C}$	30 min
4 $^{\circ}\text{C}$	Hold

(二) 接头连接

✚ 将此步骤所需用的试剂在冰上融化，短暂离心，用移液枪轻柔吹打混匀（不建议用涡旋振荡），离心后放置于冰上备用。

✚ 根据投入的细胞量，提前将 Adapter 稀释至合适的浓度备用。

1. 按下表在冰上配制接头连接反应体系：

组分	体积
上述 DNA 末端修复 / dA 尾添加产物	60 μ l
Ligation Buffer	25 μ l
T4 DNA Ligase (350 U / μ l)	1 μ l
Adapter ^{*a}	5 μ l
Nuclease free water	Up to 100 μ l

*a: 使用 *AccuNext* Short Adapter for DNA Library Kit (Illumina) (Code No. AG12537 / AG12538)，不同浓度按照下表稀释 Adapter，然后每个反应加入 5 μ l。

表 1. 100 pg ~ 1 μ g Input DNA 推荐的 Adapter 使用量

Input DNA	Adapter : Input DNA 摩尔比	参考调整比例范围
10ng	100 : 1	50 : 1 ~ 200 : 1
1ng	200 : 1	100 : 1 ~ 500 : 1
100pg	3000 : 1	1000 : 1 ~ 5000 : 1

*b: 将这 4 个组分先配制成预混液（在末端修复产物加入前，添加 Adapter，避免接头自连）轻柔混匀后，取 40 μ l 预混液加入至上述 **< (一) . 末端修复 / dA 尾添加 >** 反应液中，用移液器轻柔混匀并离心。

2. 使用移液枪轻柔吹打混匀，短暂离心，立即放入 PCR 仪中进行反应，反应程序如下（**可提前设置反应程序**）：

温度	时间
16°C	30 min
4°C	Hold

3. 反应结束后将产物放置于冰上，可立即进行纯化步骤，也可将产物 -20°C 过夜暂存（为避免 DNA 降解，建议尽快进行后续纯化步骤）。

(三) 连接产物纯化

使用磁珠纯化 DNA 产物，推荐使用 1.0 X (磁珠 : DNA=1 : 1) *MagSpherix* DNA Beads (Code No. AG12546 / AG12547 / AG12548) 进行纯化，步骤如下：

(如使用其他磁珠，建议摸索合适的磁珠比例。)

实验前准备：

- ✚ 每次实验前，可根据实验量，配制新鲜的 80%乙醇溶液，每个样品需要 400 μ l。
- ✚ 实验前，将磁珠恢复至室温 (15 ~ 25°C) (放置约 30 min)，使用前将磁珠充分涡旋振荡混匀约 5 min。

操作步骤：

1. 添加 100 μ l 已恢复至室温的磁珠至上述 100 μ l DNA 产物中 (磁珠体积 : 样品体积 = 1 : 1)，涡旋混匀 5 ~ 10 sec 或使用移液枪轻柔吸打混匀 10 次，充分混匀后，短暂离心。室温孵育 5 min。
2. 将 PCR 管置于磁力架上分离磁珠和液体，待溶液澄清后 (约 2~5 min)，小心移除上清 (勿吸到磁珠)。
3. 保持 PCR 管始终处在磁力架上，加入 200 μ l 80%乙醇溶液，室温孵育 30 sec，小心移除上清。
4. 重复步骤 3) 一次。
5. 保持 PCR 管始终置于磁力架上，开盖干燥磁珠 3 ~ 5 min 至无乙醇残留。
 - ✚ 无乙醇溶液残留时，磁珠表面无光泽；如果乙醇溶液未干燥完全，可能会影响 DNA 的洗脱效率及影响下游实验。但注意不要过分干燥磁珠，避免磁珠表面开裂，降低 DNA 洗脱效率。
6. 磁珠晾干后，将 PCR 管从磁力架上取下，加入 21 μ l Nuclease free water 覆盖磁珠，使用移液枪吹打混匀磁珠，室温孵育 5 min (如果磁珠干燥开裂，适当延长孵育时间)。
7. 将 PCR 管短暂离心，置于磁力架上，分离磁珠和液体直到溶液澄清 (约 2 ~ 5 min)。
8. 小心吸取 20 μ l 上清转移到新的 PCR 管中 (勿吸到磁珠)，直接进行步骤 < (四) PCR 文库扩增 > 或 -20°C 保存。

(四) PCR 文库扩增

- ✚ 将此步骤所需用的试剂在冰上融化，融化后短暂离心，用移液枪轻柔吹打混匀，离心后放置于冰上备用。

1. 按下表在冰上配制 PCR 反应体系：

组分	体积
上述纯化的 DNA 产物	20 μ l
2X <i>AccuNext</i> PCR Mix III	25 μ l
i5 index Primer ^a	2.5 μ l
i7 index Primer ^a	2.5 μ l
Total	50 μ l

*a: i5 / i7 index Primer 可使用 *AccuNext* CDI Oligos for DNA Library Kit (Illumina) (Code No. AG12529 / AG12530 / AG12531) 或其他等效产品。

2. 使用移液枪轻柔吹打混匀，短暂离心，立即放入 PCR 仪中进行反应，反应程序如下（可提前设置反应程序）：

温度	时间	循环数
95°C	1 min	1
98°C	10 sec	X ^a
63°C	30 sec	
72°C	2 min	1
4°C	Hold	—

*a: 下表为推荐的文库扩增循环数，实验前建议对循环数进行摸索，在满足文库产量的前提下，尽量选用少的循环数，确保得到高质量文库。

Input DNA	扩增循环数
	100ng 文库产量
10ng	6-8
1ng	11 ~ 13
100pg	14-16

3. 反应结束后可立即进行后续纯化步骤，也可将扩增产物-20°C过夜保存或-80°C保存一个月（为避免 DNA 降解，建议尽快进行纯化步骤）。

(五) 文库纯化

使用磁珠纯化 DNA 产物，推荐使用 1.0 X（磁珠：DNA=1：1）*MagSpherix* DNA Beads (Code No. AG12546 / AG12547 / AG12548) 进行纯化，步骤如下（如使用其他磁珠，建议摸索合适的磁珠比例）。

实验前准备：

- ✚ 每次实验前，可根据实验量，配制新鲜的 80%乙醇溶液，每个样品需要 400 μ l。
- ✚ 实验前，将磁珠恢复至室温（15 ~ 25 $^{\circ}$ C）（放置约 30 min），使用前将磁珠充分涡旋振荡混匀约 5 min。

操作步骤：

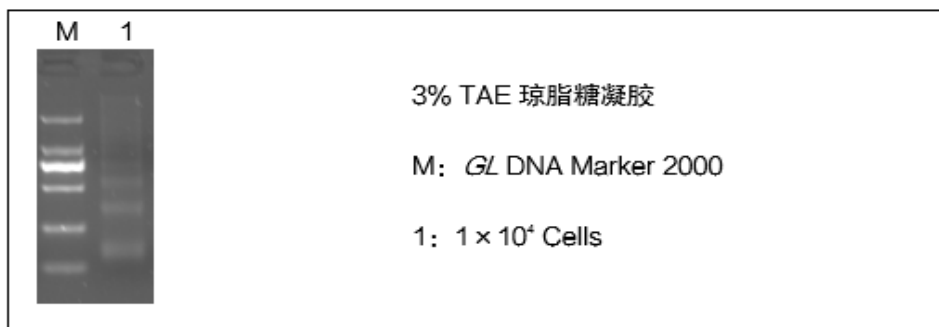
1. 将 PCR 扩增产物短暂离心，加入 50 μ l DNA Clean Beads 磁珠至 50 μ l 的 PCR 扩增产物中（磁珠：DNA=1：1），涡旋混匀 5 ~ 10 sec 或使用移液枪轻柔吸打混匀 10 次，充分混匀后，短暂离心，室温静置孵育 5 min。
2. 将 PCR 管置于磁力架上分离磁珠和液体，待溶液澄清后（约 2 ~ 5 min），小心移除上清（勿吸到磁珠）。
3. 保持 PCR 管始终在磁力架上，加入 200 μ l 80%乙醇，室温孵育 30 sec，小心移除上清。
4. 重复步骤 3）一次。
5. 保持 PCR 管始终置于磁力架上，开盖干燥磁珠 3 ~ 5 min 至无乙醇残留。
 - ✚ 无乙醇残留时，磁珠表面无光泽；如果乙醇未干燥完全，可能会影响 DNA 的洗脱效率及影响下游实验。但注意不要过分干燥磁珠，避免磁珠表面开裂，降低 DNA 洗脱效率。
6. 磁珠晾干后，将 PCR 管从磁力架上取下，加入 21 μ l Nuclease free water 覆盖磁珠，使用移液枪吹打混匀磁珠，室温孵育 5 min（如果磁珠干燥开裂，适当延长孵育时间）。
7. 将 PCR 管短暂离心，置于磁力架上，分离磁珠和液体直到溶液澄清（约 2 ~ 5 min）。
8. 小心吸取 20 μ l 上清转移到新的 PCR 管中（勿吸到磁珠），-20 $^{\circ}$ C 保存。

G. DNA 质量检测

1. 使用 Qubit 荧光计和 *AccuQ* 1X dsDNA（高灵敏度）定量试剂盒（Code No. AG12549 / AG12550）检测浓度，具体操作请参照说明书。
2. 反应结束后，取适量纯化产物进行琼脂糖凝胶电泳，成功的实验结果会呈现 ladder 状条带。
3. 成功的实验反应，会产生片段大小分布在 200 ~ 1000 bp 范围内 ladder 状条带，产物可直接用于 illumina 平台测序。

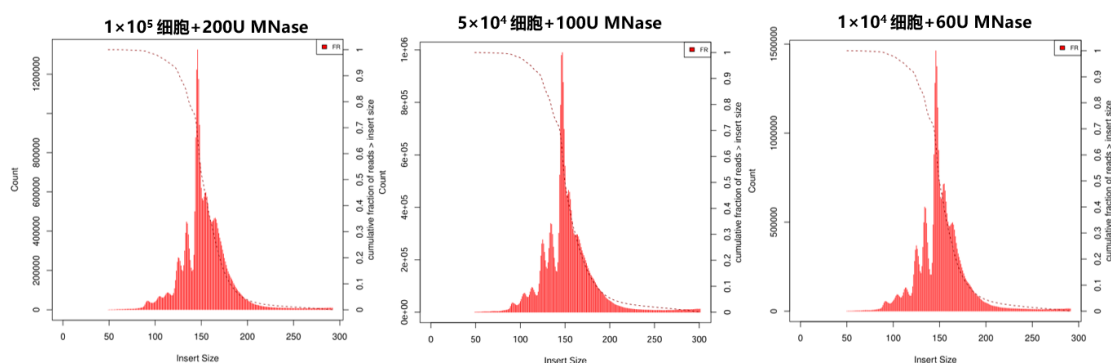
实验例

1. 使用本产品对 1×10^4 K562 Cells 进行 MNase 片段化，琼脂糖凝胶电泳检测结果如下：



2. 使用本产品对不同的细胞量 K562 Cells (1×10^5 、 5×10^4 、 1×10^4) 进行文库构建，结果显示不同细胞量均可获得较好的测序数据，片段长度分布较集中、TSS 富集正常、平行样本的相关性较好以及 IGV 覆盖图有清晰的峰谷对比，如下图所示：

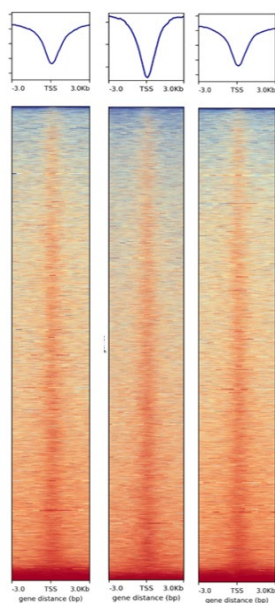
a) 文库片段长度分布图：片段长度集中在 ~150 bp 大小



b) TSS 区域（转录起始位点附近）：呈现“倒置”或“凹陷”形态

原因：启动子区域的核小体排布在大多数经典基因的启动子区域，存在一种非常保守的核小体组织模式。

- ✧ 核小体空缺区（Nucleosome-Free Region, NFR）：基因的转录起始位点（TSS）附近通常存在一个缺乏核小体的区域。这个开放区域为转录机器（如 RNA 聚合酶 II）和各类转录因子提供了结合位点，是启动基因转录的关键。
- ✧ flanking nucleosomes：在这个核小体空缺区的上下游两侧，则规律地排列着被核小体保护的 DNA 区段。紧邻 NFR 下游的第一个核小体常被称为+1 核小体，上游的第一个则称为-1 核小体。



从左至右依次是:

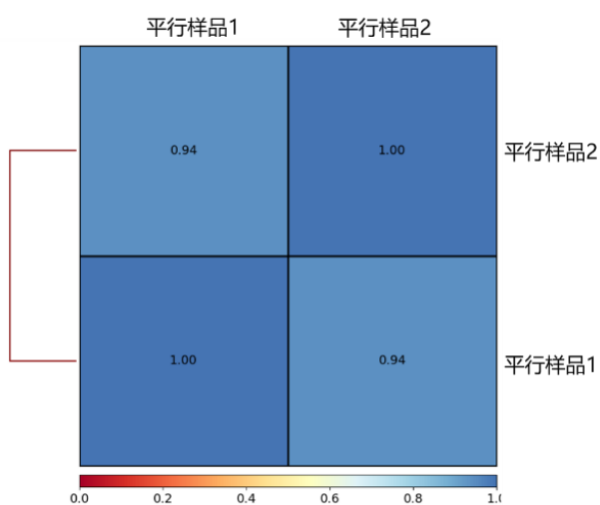
左: 1×10^5 细胞 + 200U MNase

中: 5×10^4 细胞 + 100U MNase

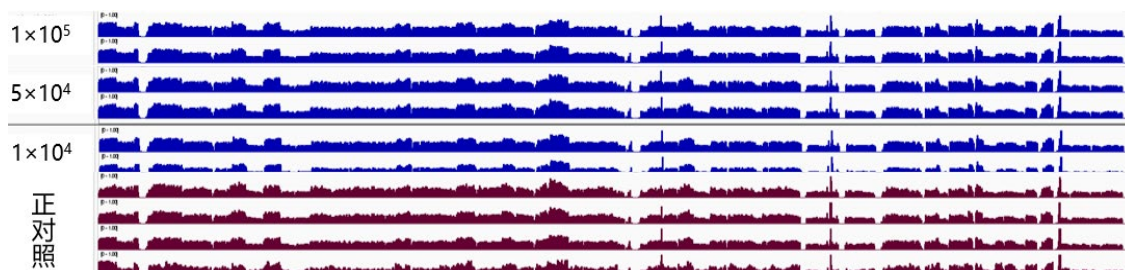
右: 1×10^4 细胞 + 60U MNase

c) 样本相关性分析: 以 5×10^4 细胞 + 100 U MNase 组为例

Pearson Correlation of Read Counts



d) IGV 覆盖图: 正对照来自 <https://ngdc.cncb.ac.cn/nucmap/samples>.



➤ 附录 1: MNase Enzyme 滴定实验

🌈 哺乳动物细胞的染色质状态存在差异,为避免消化不足或过度,建议进行 MNase Enzyme 滴定实验,以获取清晰、特异的单核小体条带,确保数据质量。

实验操作:

1. 同一细胞量,请至少使用三个酶量梯度。

表 2. MNase Enzyme 酶量推荐表

起始细胞量	MNase Enzyme
1×10^5	200 U/ μ l * 1 μ l
	150 U/ μ l * 1 μ l
	100 U/ μ l * 1 μ l
5×10^4	150 U/ μ l * 1 μ l
	100 U/ μ l * 1 μ l
	80 U/ μ l * 1 μ l
1×10^4	100 U/ μ l * 1 μ l
	60 U/ μ l * 1 μ l
	40 U/ μ l * 1 μ l

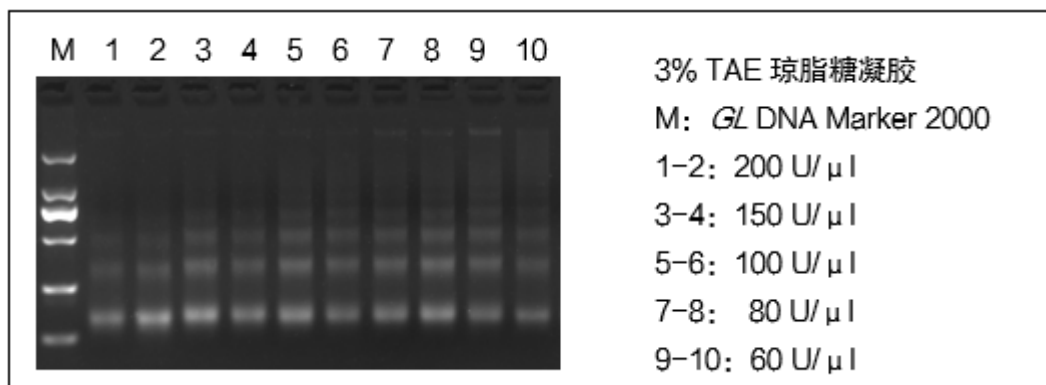
2. 具体实验操作请参见上述<操作方法>。
3. 根据琼脂糖凝胶电泳结果,选择最适 MNase Enzyme 酶量,用于后续实验。
4. 若首轮滴定结果显示 MNase Enzyme 的最适工作浓度与推荐参考值存在显著偏离,则应根据该结果调整酶的浓度梯度设置,以进行第二轮滴定验证。

实验例:

1. 现有目的细胞 GM12878,需要绘制核小体图谱,在正式实验前,通过 MNase Enzyme 滴定实验,选择实验中最适的 MNase Enzyme 酶量。

起始细胞量	MNase Enzyme
5×10^4	200 U/ μ l * 1 μ l
	150 U/ μ l * 1 μ l
	100 U/ μ l * 1 μ l
	80 U/ μ l * 1 μ l
	60 U/ μ l * 1 μ l

2. 琼脂糖凝胶电泳检测结果如下：



3. 根据 MNase Enzyme 滴定结果，初步认为 GM12878 细胞， 5×10^4 细胞量的最适 MNase Enzyme 酶量为 150 U/μl ~ 100 U/μl。