

# 土壤脲酶与汞关系中的作物效应<sup>\*</sup>

和文祥<sup>1,2</sup>, 朱铭莪<sup>1</sup>, 张一平<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2 中国科学院 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

**[摘 要]** 通过人工模拟方法动态研究了汞与土壤脲酶关系中的作物效应。结果表明, 在土壤—植物体系中, 汞对土壤脲酶和作物根系活力具有明显的抑制作用, 且土壤脲酶和根系活力对汞的应答是一致的; 根际土壤脲酶活性高于非根际, 反映出作物的生长可增加酶活性水平, 且种植作物在一定程度上可减轻汞对脲酶的抑制作用, 表明根际土壤生物活性较强, 是汞污染敏感的区域。

**[关键词]** 作物效应; 土壤脲酶; 汞; 环境保护

**[中图分类号]** S154.2 **[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1000-2782(2002)02-0068-05

汞是造成土壤污染的主要元素之一<sup>[1]</sup>, 其以三废方式向环境排放的结果不仅危害土壤质量、地下水安全、作物产量品质, 而且会随食物链潜在威胁人畜健康; 土壤酶<sup>[2]</sup>作为土壤营养物质转化等过程的催化剂, 如脲酶、磷酸酶、多酚氧化酶等是土壤氮、磷、有机物转化的重要参与者, 重金属的进入必然影响土壤酶的活性, 其中作物是影响其间关系的重要因素之一。近年来, 国内外学者分别采用“超富集植物”修复<sup>[3~5]</sup>和土壤酶<sup>[6~8]</sup>监测土壤重金属污染, 取得了较好的结果。但对作物、土壤酶和重金属三者间关系的研究, 国内外鲜见报道。本研究拟通过人工模拟方法, 动态测定土壤酶活性和作物生化指标, 探讨作物对脲酶活性与汞关系的影响, 最终为环境保护

和农业可持续发展服务。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土样

采自西北农林科技大学西农校区资环学院长期肥料定位试验地中高肥和低肥田块, 先去除 0~5 cm 表层, 五点法采集 5~20 cm 土样, 风干后, 过 1 mm 尼龙筛, 保存备用。

### 1.2 试验方法

1) 常规方法<sup>[9]</sup>测定土壤理化性质, 结果见表 1; 靛酚蓝比色法<sup>[2]</sup>分析土壤脲酶活性, 活性单位以形成  $\text{NH}_3\text{-N}$  的量表示; TTC 法测定作物的根系活力<sup>[10]</sup>。

表 1 供试土样的理化性质

Table 1 The physical-chemical properties of soils tested

| 土样<br>Soil sample             | 有机质/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<br>Organic<br>matter | 全氮/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<br>Total<br>nitrogen | 全磷/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<br>Total<br>phosphorus | 碱解氮/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<br>A available<br>nitrogen | 速效磷/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<br>A available<br>phosphorus |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 高肥土样<br>High fertility sample | 17.65                                                            | 1.502                                                           | 1.625                                                             | 137.592                                                                 | 345.52                                                                    |
| 低肥土样<br>Low fertility sample  | 10.29                                                            | 1.046                                                           | 0.780                                                             | 114.912                                                                 | 26.480                                                                    |

2) 试验采用有机玻璃三室盆栽盒<sup>[11]</sup>(图 1)完成。中室厚 1 cm, 两边外室厚度 5 cm, 盆栽盒宽度和高度均为 8 cm, 实际净内部体积为  $10.4 \text{ cm} \times 7.4 \text{ cm} \times 7.4 \text{ cm}$  ( $569.504 \text{ cm}^3$ )。中室与 2 个外室之间用 1 层孔径约 0.048 mm (300 目) 尼龙筛网隔开(仅能

通过水分和养分), 中室土壤种植作物。

3) 称取 730.0 g 风干土样, 先将  $\text{HgCl}_2$  ( $\text{Hg}^{2+}$  浓度为 0.0, 10.0, 20.0, 50.0  $\text{mg/kg}$ ) 水溶液以喷雾方式混匀, 使土样含水量保持在 180 g/kg, 然后按容重  $1.23 \text{ g/cm}^3$  装盆。平衡 3 d 后, 在每个盆中室播

<sup>\*</sup> [收稿日期] 2001-04-23

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(39370148); 西北农林科技大学青年基金资助项目

[作者简介] 和文祥(1968-), 男, 陕西黄龙人, 副教授, 博士。主要从事土壤生物化学和生态毒理学研究。

入已萌发的小麦(品种为陕 229)种子 15 粒, 待苗出齐后, 定苗 10 株。然后将盆栽盒置于加拿大康维伦公司生产的 E8H 人工气候室中培养。培养条件: 相对湿度 75%, 温度 17 和 27 °C; 白天光照充足, 晚上关闭灯光; 适时称重灌水, 保持较好的水分条件。试验重复 3 次, 并设不种植小麦处理作为作物对照。

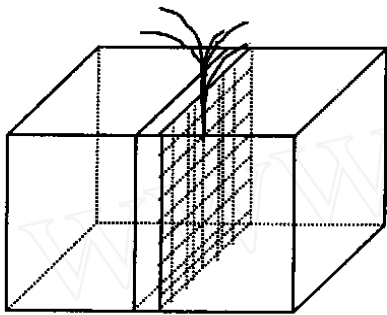


图 1 三室盆栽盒

Fig 1 A potted plant box with three chambers

培养期间每隔 5 d, 取出 1 批盆栽盒, 收割植株;

将中室和外室土壤取出, 分离小麦根系, 收集土样, 分别测定土壤脲酶活性和根系活力, 分别以形成  $\text{NH}_3\text{-N}$  和还原 TTC 的量为单位。共计取样 5 次, 即最后 1 批培养 25 d。

2 结果与讨论

2.1 汞对土壤脲酶活性的影响

作物对照的土壤脲酶活性结果(表 2)显示, 汞的加入降低了土壤脲酶活性, 且随汞浓度增加, 土壤脲酶活性减小, 这主要是汞与酶活性部位- 巯基和含咪唑的配位体等结合, 形成了非常稳定的化学键, 因而对脲酶具有较强的抑制作用; 相同条件下高肥土样的酶活性大于低肥, 这是由于高肥土样中有机质含量较高, 吸附固定并形成复合体的脲酶数量较多, 同时有机质等对汞的吸附能力较强<sup>[1]</sup>, 使其游离态数量减少, 相对汞的生态毒性减弱的缘故, 也佐证了土壤对酶和重金属具有保护和缓冲作用<sup>[12]</sup>。

表 2 无小麦土壤的脲酶活性  
Table 2 Soil urease activity of non-wheat treatments

| 温度/°C<br>Temperature | 培养时间/d<br>Culture time | Hg/(mg · kg <sup>-1</sup> ) |       |       |       |                           |       |       |       |
|----------------------|------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|
|                      |                        | 高肥土样 High fertility sample  |       |       |       | 低肥土样 Low fertility sample |       |       |       |
|                      |                        | 0 0                         | 10 0  | 20 0  | 50 0  | 0 0                       | 10 0  | 20 0  | 50 0  |
| 17                   | 5                      | 26 54                       | 20 31 | 16 22 | 10 00 | 18 25                     | 13 33 | 11 26 | 8 47  |
|                      | 10                     | 26 35                       | 16 32 | 11 40 | 6 20  | 18 00                     | 13 91 | 10 85 | 6 15  |
|                      | 15                     | 24 82                       | 18 80 | 13 53 | 10 98 | 15 22                     | 12 34 | 9 98  | 7 91  |
|                      | 20                     | 20 30                       | 15 89 | 12 47 | 11 13 | 14 74                     | 11 25 | 9 32  | 7 32  |
|                      | 25                     | 24 65                       | 19 72 | 11 77 | 8 20  | 20 26                     | 15 92 | 11 58 | 9 79  |
| 27                   | 5                      | 29 09                       | 22 45 | 13 17 | 10 02 | 20 73                     | 9 28  | 7 73  | 6 59  |
|                      | 10                     | 34 02                       | 0 70  | 24 89 | 23 40 | 15 56                     | 12 58 | 7 43  | 7 09  |
|                      | 15                     | 20 73                       | 20 05 | 16 04 | 15 37 | 18 72                     | 15 37 | 14 30 | 10 03 |
|                      | 20                     | 24 36                       | 22 26 | 18 95 | 17 75 | 19 70                     | 17 15 | 16 69 | 14 44 |
|                      | 25                     | 20 26                       | 15 92 | 11 58 | 9 79  | 12 32                     | 11 58 | 8 20  | 6 80  |

2.2 汞对作物生化指标的影响

小麦根系活力是作物生理活动的重要指标, 其值可反映作物的生长潜力<sup>[10]</sup>。由表 3 可以看出: 对照处理小麦根系活力值最高, 汞的加入明显降低根系活力, 表明汞可抑制根系吸收、分泌及交换物质的强度, 从而减缓作物的生长速度; 随汞浓度增加, 大多数处理根际活力值减小, 且幅度逐渐减缓, 如 17 °C 时供试土样根系活力在汞 20 0~50 0 mg/kg 时变化较小, 显示出在较低浓度条件下根系对汞的毒害比较敏感, 而较高浓度时反应迟钝; 低肥土样小麦

根系活力在汞 0~10 mg/kg 时降幅较大, 而高肥则延迟到 20 mg/kg, 证实由于肥力差异导致土壤对汞缓冲作用及容量不同, 即汞的毒性变化所致; 随温度升高, 除少数外其余处理根系活力表现为高温大于低温, 可能主要是高温条件下根系分泌较多的缘故; 除 17 °C 25 d 处理外, 高肥土样的根系活力大于低肥, 这一方面是两土样对汞缓冲作用差异较大, 另一方面高肥土壤中富含小麦根系生长所需的许多营养物质, 从而促进了根系的生长。

表 3 不同处理小麦的根系活力

g/(g·h)

Table 3 Wheat root activity of different treatments

| 温度/℃<br>Temperature | 培养时间/d<br>Culture time | Hg/(mg·kg <sup>-1</sup> )  |       |       |       |                           |       |       |       |
|---------------------|------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|
|                     |                        | 高肥土样 High fertility sample |       |       |       | 低肥土样 Low fertility sample |       |       |       |
|                     |                        | 0 0                        | 10 0  | 20 0  | 50 0  | 0 0                       | 10 0  | 20 0  | 50 0  |
| 17                  | 5                      | 1 677                      | 1 520 | 0 737 | 0 528 | 1 393                     | 1 067 | 0 474 | 0 406 |
|                     | 10                     | 3 929                      | 2 512 | 1 643 | 1 011 | 2 279                     | 0 525 | 0 916 | 0 469 |
|                     | 15                     | 2 128                      | 1 485 | 1 088 | 0 808 | 1 863                     | 1 007 | 0 663 | 0 200 |
|                     | 20                     | 2 337                      | 1 518 | 1 453 | 1 238 | 1 203                     | 0 643 | 0 520 | 0 314 |
|                     | 25                     | 1 417                      | 1 083 | 0 723 | 0 512 | 3 015                     | 2 176 | 0 728 | 0 931 |
| 27                  | 5                      | 2 597                      | 2 455 | 2 305 | 2 050 | 3 249                     | 1 844 | 2 153 | 1 807 |
|                     | 10                     | 3 426                      | 3 272 | 2 397 | 1 671 | 2 440                     | 1 331 | 1 366 | 1 041 |
|                     | 15                     | 2 696                      | 1 746 | 1 455 | 1 509 | 1 532                     | 1 480 | 1 263 | 1 097 |
|                     | 20                     | 2 297                      | 2 177 | 1 209 | 1 110 | 1 939                     | 1 150 | 1 147 | 1 144 |
|                     | 25                     | 3 575                      | 3 510 | 1 731 | 0 769 | 1 965                     | 1 248 | 0 769 | 0 553 |

表 4 供试土壤脲酶活性

μg/(g·h)

Table 4 The urease activity of soils tested

| 温度/℃<br>Temperature | 培养时间/d<br>Culture time | 部位<br>Location      | Hg/(mg·kg <sup>-1</sup> )  |       |       |       |                           |       |       |       |
|---------------------|------------------------|---------------------|----------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|
|                     |                        |                     | 高肥土样 High fertility sample |       |       |       | 低肥土样 Low fertility sample |       |       |       |
|                     |                        |                     | 0 0                        | 10 0  | 20 0  | 50 0  | 0 0                       | 10 0  | 20 0  | 50 0  |
| 17                  | 5                      | 根际<br>Rhizosphere   | 30 75                      | 27 54 | 24 60 | 20 86 | 25 67                     | 26 74 | 22 46 | 20 05 |
|                     |                        | 非根际 Non-rhizosphere | 26 20                      | 22 19 | 20 80 | 20 05 | 22 72                     | 20 58 | 21 66 | 18 72 |
|                     | 10                     | 根际<br>Rhizosphere   | 38 06                      | 18 92 | 14 33 | 9 83  | 18 51                     | 10 04 | 7 47  | 6 25  |
|                     |                        | 非根际 Non-rhizosphere | 32 05                      | 13 69 | 6 73  | 5 14  | 15 01                     | 9 20  | 5 24  | 4 86  |
|                     | 15                     | 根际<br>Rhizosphere   | 36 08                      | 17 90 | 17 60 | 15 04 | 16 40                     | 12 30 | 11 73 | 11 61 |
|                     |                        | 非根际 Non-rhizosphere | 20 35                      | 15 64 | 12 78 | 13 53 | 12 63                     | 11 43 | 10 77 | 9 63  |
|                     | 20                     | 根际<br>Rhizosphere   | 25 72                      | 16 80 | 14 65 | 11 51 | 15 31                     | 15 47 | 10 66 | 8 13  |
|                     |                        | 非根际 Non-rhizosphere | 18 94                      | 15 46 | 11 56 | 10 12 | 13 71                     | 11 62 | 8 66  | 6 18  |
|                     | 25                     | 根际<br>Rhizosphere   | 21 27                      | 15 86 | 10 57 | 5 12  | 10 53                     | 7 45  | 5 60  | 3 81  |
|                     |                        | 非根际 Non-rhizosphere | 18 65                      | 9 54  | 6 50  | 2 40  | 7 08                      | 5 02  | 4 00  | 2 10  |
| 27                  | 5                      | 根际<br>Rhizosphere   | 37 76                      | 32 58 | 21 47 | 18 07 | 28 14                     | 19 25 | 19 22 | 14 36 |
|                     |                        | 非根际 Non-rhizosphere | 34 28                      | 29 47 | 19 77 | 18 51 | 26 73                     | 15 92 | 14 81 | 13 62 |
|                     | 10                     | 根际<br>Rhizosphere   | 23 97                      | 23 28 | 15 42 | 13 46 | 19 64                     | 16 30 | 10 80 | 9 33  |
|                     |                        | 非根际 Non-rhizosphere | 22 59                      | 22 30 | 13 46 | 11 30 | 17 48                     | 12 97 | 11 10 | 10 31 |
|                     | 15                     | 根际<br>Rhizosphere   | 33 82                      | 29 27 | 22 50 | 20 98 | 24 68                     | 23 82 | 19 00 | 17 77 |
|                     |                        | 非根际 Non-rhizosphere | 27 40                      | 24 68 | 19 99 | 17 28 | 24 18                     | 19 13 | 17 15 | 15 92 |
|                     | 20                     | 根际<br>Rhizosphere   | 26 87                      | 22 96 | 18 95 | 14 74 | 19 25                     | 17 25 | 14 74 | 12 93 |
|                     |                        | 非根际 Non-rhizosphere | 21 66                      | 17 95 | 15 04 | 13 03 | 16 14                     | 13 64 | 13 03 | 11 33 |
|                     | 25                     | 根际<br>Rhizosphere   | 30 08                      | 24 67 | 21 86 | 17 65 | 22 46                     | 19 65 | 17 55 | 15 74 |
|                     |                        | 非根际 Non-rhizosphere | 23 06                      | 20 45 | 18 25 | 15 54 | 21 36                     | 16 44 | 15 54 | 14 34 |

2 3 作物对土壤脲酶活性与汞关系的影响

表 4 显示, 种植小麦对土壤脲酶活性影响十分

明显, 表现为根际土壤酶活性大于非根际, 如对照土壤, 脲酶活性增幅为 6%~77%。这主要是由于在作物生长过程中, 根系不仅本身分泌酶类, 而且分泌各种营养物质(包括维生素、氨基酸等), 从而刺激根际土壤微生物的生长, 使微生物分泌酶量增加, 而这些游离酶又会很快被固定在土壤有机无机颗粒上, 并稳定地表现出酶活性。

比较表 2 和表 4 可以看出, 种植小麦的根际和非根际(特别是根际)土壤脲酶活性比无小麦土壤的高, 尤以培养 5 d 规律性最好, 根际脲酶活性增加率 17 °C 时为 52 1%~13 7%, 27 °C 时为 44 6%~23 0%; 非根际的增加率 17 °C 时为 50 1%~8 5%, 27 °C 时为 45 9%~15 1%。显示种植作物可一定程度减轻汞对脲酶的抑制作用(低肥也呈现类似结果)。这可能是在小麦生长发育过程中, 根系要吸收土壤中一定量的汞, 从而使得土壤汞含量有所

降低。许多学者研究指出<sup>[1]</sup>, 重金属污染土壤种植的作物, 体内有数量不等的重金属累积; 同时根系也会向根际土壤中分泌一些有机物质, 一方面螯合或络合部分汞离子, 使其有效性减弱, 另一方面会刺激微生物的生长发育, 使主要来自微生物的土壤酶量增加, 因而在表观上呈现出种植作物减轻了汞对脲酶的抑制程度。

为进一步探讨添加汞对酶活性的影响, 以高肥为例, 比较对照与不同添加汞浓度时土壤脲酶活性的降幅(抑制率)后发现(表 5), 除少数处理外, 根际土壤酶活性抑制量大于非根际, 显示在生物活性较高的根际区, 微生物和作物根系活力较强, 对汞处于较敏感状态, 故不同汞浓度造成根际土壤脲酶活性的降幅较大、抑制量较高, 表明在相同条件下, 土壤-植物体系中土壤根际区是生物活性较强的区域, 其脲酶活性对汞的敏感性也较强。

表 5 高肥土壤脲酶活性抑制率 %

Table 5 The inhibition rate of urease activity in higher fertility soil

| 温度/°C<br>Temperature | Hg 质量分数/<br>(mg · kg <sup>-1</sup> )<br>Hg concentration | 根际抑制率<br>Inhibition rate of<br>rhizo sphere | 非根际抑制率<br>Inhibition rate of<br>non-rhizo sphere | 温度/°C<br>Temperature | Hg 质量分数/<br>(mg · kg <sup>-1</sup> )<br>Hg concentration | 根际抑制率<br>Inhibition rate of<br>rhizo sphere | 非根际抑制率<br>Inhibition rate of<br>non-rhizo sphere |
|----------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 17                   | 0~10                                                     | 8.92~19.14                                  | 3.48~18.36                                       | 27                   | 0~10                                                     | 0.89~5.41                                   | 0.29~3.71                                        |
|                      | 0~20                                                     | 6.15~18.48                                  | 5.4~7.57                                         |                      | 0~20                                                     | 7.92~16.29                                  | 4.81~14.51                                       |
|                      | 0~50                                                     | 9.89~28.33                                  | 6.15~26.91                                       |                      | 0~50                                                     | 12.13~19.69                                 | 7.52~15.77                                       |

3 结 语

汞对土壤酶活性的抑制作用在土壤—植物体系中仍然存在; 根际土壤酶活性大于非根际土壤和不种植小麦土样, 显示种植作物在一定程度可减轻汞对土壤酶的抑制作用; 根际土壤是生物活性较强、汞污染较敏感区域; 且根际土壤脲酶活性的抑制率大

于非根际土壤; 汞对作物的根系活力具有明显的抑制作用, 且土壤脲酶和根系活力对汞的应答是一致的。

致谢: 试验得到了西北农林科技大学张富仓副研究员的帮助, 特致谢忱。

[参考文献]

[1] 许嘉琳, 杨居容. 陆地生态系统中的重金属[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995

[2] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1987.

[3] 桑连伟, 孔繁翔. 植物修复研究进展[J]. 环境科学进展, 1999, 7(3): 40- 44

[4] 赵爱芬. 植物对污染土壤修复作用的研究进展[J]. 土壤通报, 2000, 31(1): 43- 46

[5] 骆永明. 金属污染土壤的植物修复研究[J]. 土壤, 1999, 31(5): 261- 265

[6] 和文祥. 汞镉对土壤脲酶活性特征影响的研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学资环学院, 1999

[7] 加里尔·维·加里乌林. 根据土壤酶的活性监测土壤的重金属污染[J]. 国外农业环境保护, 1992, 3: 33- 36

[8] Welp G. Inhibitory effects of the total and water-soluble concentrations of nine different metals on the dehydrogenase activity of a loess soil[J]. Biol Fertil Soil, 1999, 30: 132- 139

[9] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1980

[10] 西北农业大学生理生化组. 植物生理学实验指导[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1987.

[11] 吕家珑. 土壤磷素运移及根区土壤磷形态变化特征的研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学资环学院, 1996

- [12] 和文祥, 陈会明, 冯贵颖, 等. 汞镉砷元素污染的土壤酶监测研究[J]. 环境科学学报, 2000, 20(3): 338- 343
- [13] Reddy G B, Alexandra F, Richard B J R. Activity of enzymes in rhizosphere and non-rhizosphere soils amended with sludge[J]. Soil Biol & Biochem, 1987, 19(2): 203- 205

Crop effect on the relationship between soil urease activity and mercury

HE Wen-xiang<sup>1,2</sup>, ZHU Ming-e<sup>1</sup>, ZHANG Yi-ping<sup>1</sup>

(1 College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;  
2 Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

**Abstract:** It is important to study the relationship among soil enzyme, crop and mercury, because mercury has remarkable influence not only on soil quality, but also on the product and quality of crops. Their relationship is investigated by dynamic idea and simulated method. The results show as the followings: Hg obviously inhibited soil urease activity and crop root-activity under soil-crop agricultural system; Crop could enhance soil urease activity and reduce Hg's inhibition because the urease activity of rhizosphere soil is higher than that of non-rhizosphere soil. Rhizosphere is a region that is a zone of the highest bioactivity and sensitivest to Hg.

**Key words:** crop effect; soil urease; mercury; environment protection

西北农林科技大学 2000 年科技论文被引用频次位居全国高校第 25 名

据 2000 年中国科技论文引文统计分析数据库统计, 我校 2000 年科技论文被引用频次位居全国高校第 25 位, 在全国农业高校中位居第一, 排在我校前面的陕西高校有第四军医大学和西安交通大学, 见下表。

附表 2000 年我国高等学校科技论文被引用频次前 50 名

| 名次 | 高等学校     | 论文数   | 名次 | 高等学校     | 论文数   |
|----|----------|-------|----|----------|-------|
| 1  | 北京大学     | 4 492 | 26 | 中国地质大学   | 1 034 |
| 2  | 浙江大学     | 3 225 | 27 | 第一军医大学   | 1 024 |
| 3  | 清华大学     | 3 073 | 28 | 东南大学     | 933   |
| 4  | 华中科技大学   | 2 866 | 29 | 中国农业大学   | 920   |
| 5  | 复旦大学     | 2 494 | 30 | 中山大学     | 845   |
| 6  | 四川大学     | 1 960 | 31 | 中国协和医科大学 | 816   |
| 7  | 第二军医大学   | 1 936 | 32 | 南开大学     | 804   |
| 8  | 吉林大学     | 1 865 | 33 | 大连理工大学   | 800   |
| 9  | 武汉大学     | 1 861 | 34 | 东北大学     | 773   |
| 10 | 第四军医大学   | 1 843 | 35 | 西北工业大学   | 753   |
| 11 | 西安交通大学   | 1 841 | 36 | 南京农业大学   | 749   |
| 12 | 上海交通大学   | 1 595 | 37 | 中国医科大学   | 732   |
| 13 | 中南大学     | 1 581 | 38 | 厦门大学     | 706   |
| 14 | 上海第二医科大学 | 1 538 | 39 | 北京航空航天大学 | 678   |
| 15 | 中山医科大学   | 1 526 | 40 | 国防科技大学   | 655   |
| 16 | 南京大学     | 1 465 | 41 | 华东理工大学   | 642   |
| 17 | 哈尔滨工业大学  | 1 435 | 42 | 西北大学     | 630   |
| 18 | 第三军医大学   | 1 365 | 43 | 郑州大学     | 621   |
| 19 | 天津大学     | 1 233 | 44 | 福建农林大学   | 613   |
| 20 | 同济大学     | 1 223 | 45 | 石油大学     | 605   |
| 21 | 山东大学     | 1 181 | 46 | 华中农业大学   | 604   |
| 22 | 中国科技大学   | 1 141 | 47 | 北京科技大学   | 592   |
| 23 | 首都医科大学   | 1 091 | 48 | 北京师范大学   | 588   |
| 24 | 华南理工大学   | 1 090 | 49 | 青岛海洋大学   | 564   |
| 25 | 西北农林科技大学 | 1 063 | 50 | 重庆大学     | 555   |