

中国土壤质量变化趋势



周健民

中国科学院南京土壤研究所

中国土壤资源总量居世界前列，但人均耕地占有量还不足世界平均水平的45%，且退化严重，总体质量不高。随着城市化的高速发展和西部退耕还林工程的实施，全国耕地面积将进一步减少。在人口持续增加和耕地面积不断减少的双重压力下，耕地土壤资源的利用强度进一步加大。另一方面，为了提高土壤资源生产力，大量农用化学品的投入不可避免，加之工业化和城镇化带来的影响，土壤污染日益加剧，粮食质量的安全性也受到威胁。为此，我们只有及时地掌握土壤资源量与质的现状和动态变化，才有可能满足社会对土壤资源的需求，为我国的粮食安全保障作出贡献。

全国第二次土壤普查至今也已过去了二十多年。二十多年来，农业生产方式由生产队为基础改为家庭联产承包责任制，作物布局由过去的计划种植变成以市场为导向的多元化种植；肥料从以有机肥为主转变成以无机肥为主，除草剂和农药用量成倍增加，工业化和城镇化加速，这些对土壤资源质量都产生了深刻的影响。二十多年来，粮食生产总量从1978年的3048亿公斤增至1997年的近5000亿公斤，化肥投入从1978年的800万吨增至2003年的4339.4万吨，增加了4倍多。在这期间尽管土壤科技人员在土壤学研究方面做了大量的工作，但对粮食生产和环境保护有密切关系的全国性和区域性土壤资源的质量变化研究甚少，再加上没有一个量化的和统一的土壤质量标准，致使全国性和区域性土壤资源质量评价变得困难。二十多年的剧烈变化，原有的土壤普查数据已不能代表今天的土壤质量现状，需要了解土壤质量的变化情况。

1、中国主要耕地土壤质量时空分异规律研究区域的选择

由中国科学院南京土壤研究所主持完成的中国重点基础研究计划（973）项目选择了水稻土、红壤、潮土和黑土作为研究对象，因为这四大类土壤是我国粮食生产的主要耕地土壤，生产粮食90%以上。为了减少工作量，选择了具有代表性的太湖地区水稻土，从鄱阳湖边至武夷山的条带区红壤，河南、河北—北京、山东的十字交叉区的潮土以及南北条带分布的黑土为研究案例区。研究中考察了10个省（市）60余个县市，按统一的技术规程案例地区采集土壤样品约6109个，其中华南红壤区和太湖水稻土区的样点数分别为856和1603个，华北潮土和东北黑土区分别为1775和404个。在总的采样点中，1/5的样点除采有耕层外，还采集了表下层土样、分析微生物土样和分析有机农药残留土样，大约1/20的样点采集了土壤剖面样品。分析了土壤物理、化学、生物等指标24项，包括植物、水等样品，新得分析数据约20万个。在野外调查和分析的基础上，研究了四大区土壤肥力质量及指标的空间分布和时空演变、土壤健康质量的空间分异特征，以此揭示中国土壤质量状况及肥力质量演变格局。

2、土壤pH的演变

水稻土区从等级变化来看，上世纪80年代到2000年，土壤pH一级区面积大大减少，减少量达58.5万公顷，占全区面积16.2%，而二级和三级的面积分别增

加了29.7万和27.1万公顷，占全区面积8.2%和7.5%，四级变化量最小。从变化幅度来看，一级面积减少42.5%，而二级、三级和四级分别增加了53.1%，114.1%和87.4%。可以看出，三级变化率最大，四级虽然总体变化小，但是变化率也很大。总之，水稻土区pH全面下降，下降的面积占总面积的91.6%。

红壤区近20年来绝大部分地区的土壤pH下降。鹰潭地区土壤pH下降的区域主要分布在进贤县北部、东乡县、贵溪中部和铅山北部，pH下降的地区占鹰潭地区总面积的63.5%，pH升高的地区占36.5%。从分布面积比例来看，20年来兴国县土壤酸化比鹰潭地区还要严重。

黑土区土壤pH降低了0.33单位，潮土区土壤pH从8.9降低到8.0。

大气酸沉降和施肥不当是造成我国土壤大面积酸化的主要原因。如果这种趋势继续下去，对本来pH值就不高的土壤来说，不仅会导致土壤肥力退化，对作物生长带来不利影响，而且也会引起土壤污染物的活化而增加生态环境风险。

3、土壤有机质演变

黑土区全国第二次土壤普查时（1980-1982年），表层(0-20cm)土壤平均有机质为59.22g/kg，本次采样分析（2000年-2002年）的结果为52.82g/kg，降低了6.40 g/kg，但底层土壤(20-40厘米)变化不大。经统计结果表明，87.82%以上面积的土壤有机质都出现不同程度的下降，其中降低20g/kg以上的达到40%以上，降低10g/kg以上的达到55%以上，而仅有13%的土壤有机质略有增加。从空间变化看，南部地区有机质主要降低在10g/kg以内，北部地区减低幅度在20g/kg以上。这种大面积降低，一方面是气候变暖、黑土开垦后短期内的必然结果，同时也与该地区存在的缓坡侵蚀以及不重视有机肥施用有关。黑土区土壤有机质的变化结果表明，20年来，一级的增加了12.29%，三级的增加15.27%，五级的减少了32.60%。这一结果表明黑土的有机质在过去的20年里有虽然明显降低，但含量低的土壤却向有利于作物生长的方面转化，这也可能是该地区作物产量稳中有升的主要原因之一。

潮土区近20年来土壤有机质含量有增加的趋势。全国第二次土壤普查时，土壤有机质含量的均值为10.03g/kg，本次采样分析结果表明，土壤有机质含量已经提高到了13.34 g/kg。对潮土区土壤有机质变化幅度进行统计，结果发现，占潮土区土地总面积89.46%的土壤有机质都出现不同程度的上升，其中增加3g/kg以上的达到50%以上，而仅有10.54%的土壤有机质略有减少。从土壤有机质等级变化表中可以看到，潮土区土壤有机质位于一、二、三级的增多，而四、五级的减少（表4-2-10，）。说明潮土区土壤有机质含量不断增加。

从水稻土区两个时期含量变化来看，有机质下降的面积非常少，小于8%的比例，其余的面积都有不同程度的增加，其中又以上升5-10g/Kg的分布面积最大。从水稻土区有机质等级变化来看，土壤有机质一级区面积在增加，增加了65.2万公顷，占全区面积的18%；2000年一级区面积比20年前增加了一倍多；二级和三级减少量差不多，占全区面积分别为8.9%和8.6%，而四级区面积没有变化很多。因此，从面积来看，土壤有机质状况经过20年耕作还是在不断变好，说明有机质呈现积累的过程。

红壤区(鹰潭地区)20年来有61.9%的区域土壤有机质含量是增加的，主要分布在东乡县西北部、贵溪市和铅山县，有机质含量下降的地区主要分布在进贤和余江两县以及东乡县东南部，下降区域占鹰潭地区总面积的38.1%，其中降幅在10g/kg所占的面积比例最大，为26.1%。鹰潭地区农田土壤有机质为II、III、IV和V等级的面积分别减少了农田面积的2.4%、2.5%、9.5%和0.4%，I级的土壤

面积增加了**14.8%**。显然研究区农田土壤有机质有增加的趋势，且农田土壤有机质的等级在升高。

由于高度集约化利用和长期处于低投入水平，上一世纪**70**年代末**80**年代初进行第二次土壤普查时，我国农田土壤有机质含量普遍较低。较低的土壤有机质含量为土壤有机质含量的增加提供了较大的空间。近**20**年来，我国作物单产持续增加是导致我国农田土壤有机质含量增加的关键驱动因素。根据《中国农业年鉴》的统计分析，我国大宗作物小麦、玉米、水稻和大豆，**2002**年单产分别比**1980**年增加了**105%**、**63%**、**51%**和**63%**。对长期肥料试验结果的分析表明，在单纯施用化肥的条件下，作物单产与土壤有机质含量呈正相关。根据这些相关性建立的回归方程，计算得出，作物单产增加使**20**年来，我国农田土壤有机质含量增加**9.11%**，与长期肥料试验中单纯施用化肥处理的平均有机质含量增加**9.99%**非常接近。当化肥替代有机肥时，人们普遍担心长期单纯施肥化肥将导致土壤生产力下降。但从本项目的研究结果看，合理、平衡施用化肥，不仅不会导致土壤生产力的下降，而且由于作物高产，提高土壤有机质。另一方面，如果化肥配合有机肥，则土壤有机质的增加幅度更大。因此，从增加土壤碳固定、提高土壤基础肥力和保护环境出发，应该提倡化肥和有机肥的配合施用。作物产量提高，残留于土壤的根系增加，这是土壤有机质的重要来源。此外，在作物生长过程中分泌出大量的有机物质，根系生长过程中表皮细胞的脱落和根的死亡都提供有机物质，它们通过腐殖化作用转化成为土壤有机质。通过玉米单株盆栽试验，测定土壤有机碳 $\delta^{13}C$ 表明，玉米成熟时，土壤有机质含量提高。由玉米根系分泌物和脱落物转化而成的土壤有机质占土壤有机质总量的**14—22%**。

4、土壤速效磷的演变

黑土区与全国第二次土壤普查数据相比，土壤速效磷平均增加**9.82mg/kg**，各县区土壤速效磷含量都有不同程度的增加。由于这**6**个县属于作物高产区，土壤速效磷含量的增加与连年大量施入磷肥有密切关系。统计结果表明，**2000**年速效磷为一、二级的耕地面积分别比**1980**年增加了**12.26%**和**42.26%**，目前**70%**以上的土壤其速效磷属于二级水平，可以减少磷肥的施用数量和强度。土壤速效磷这一变化是过去**20**年该地区重视磷肥施用的结果，使过去缺磷土壤的面积不断降低，几乎不存在磷素在五级水平的土壤。因此极大地提高本地区土壤肥力质量，这是该地区作物产量不断提高的关键因素。

潮土区土壤速效磷含量变化统计分析表明，**20**年来潮土区土壤速效磷全面增加，由全国二次土壤普查时的**5.06 g/kg**，增加到现在的**21.80 g/kg**，总体平均增加**16.74g/kg**。其中北部（北京）比南部（河北，山东）增长的更快，认为主要原因是施用磷肥习惯存在地区间差异。潮土区的土壤速效磷含量增加的区域占总面积的**98.9%**，其中，增加在**15mg/kg**的土地面积占到了**50%**以上。这与现今农户的农田管理措施相关，潮土区施用磷肥非常普遍。**20**年来，整个潮土区的土壤速效磷含量不断增加，其中，位于一、二、三级的比例增加，四、五级的减少。

水稻土太湖地区土壤速效磷含量变化 $\pm 10 \text{ mg/Kg}$ 的面积占**90%**，而速效磷下降面积比上升的面积大，总体来看，速效磷养分是欠缺的。速效磷亏缺较多的区域在浙江安吉、临安、湖州和上海松江、浦东等地。速效磷积累区域以太湖为中心的西北、东南向的方向上，也包括上海南汇、奉贤等地。从水稻土区土壤速效磷等级变化来看，一级质量的面积减少，四级的面积也有少量减少，而二级和三

级的面积增加，尽管从面积来看各级别面积变化并不是特别大，但是总体趋势是变差了。

20年来红壤区的鹰潭地区土壤速效磷含量也呈增加趋势，除进贤县西北部速效磷含量略有降低外，进贤县东南部、余江、东乡、贵溪和铅山土壤速效磷含量均呈增加趋势。速效磷增加的地区占鹰潭地区总面积的91.8%，而降低的地区仅占8.2%。鹰潭地区土壤速效磷为四和五等级的面积分别减少了总面积的2.2%和67.1%，一、二、三级的土壤面积增加了43.9%、7.7%和17.7%；有数据表明鹰潭地区的农田土壤速效磷变化也具有类似的特征，二、四和五等级的面积分别减少了农田总面积的0.9%和15.51%和41.8%，一、三级的土壤面积增加了53.7%、4.4%。显然研究区20年来土壤速效磷含量是提高的，且土壤速效磷的质量等级也是上升的。

5、土壤速效钾的演变

与全国第二次土壤普查数据相比较，黑土区土壤速效钾含量都不同程度的降低，平均降低40mg/kg，约占总量的20%。1980年时80%以上土壤的速效钾都达到一级水平，尤其是北部地区，几乎都是速效钾丰富地区。20年来黑土速效钾一级的耕地降低了31%，二级增加了30%。速效钾逐年下降除受土壤和气候等自然因素影响外，人为管理措施是其降低的重要因素。1980年的土壤普查结果显示，80%以上的土壤速效钾含量丰富，因此近20年来在该地区几乎不施用钾肥，甚至改变了我国传统施用草木灰和炕洞土的习惯。由于改革开放以来，该地区连年使用施氮磷肥、使作物产量不断提高，而有机肥和钾肥施用很少，因此速效钾含量不断降低。可见，今后黑土区应特别注意增施钾肥。

潮土区土壤速效钾含量变化统计结果表明，20年来潮土区土壤速效钾的变化空间变异很大，有的区域增加（北京通州，山东陵县），有的区域减少（河北曲周），这还是与人们的施肥管理有关；有的地区由于发展果蔬等，钾肥成为产量和品质的限制性因素，因此普遍施钾肥，土壤钾素提高地很快。潮土区的土壤速效钾含量增加的区域占总面积的75.86%，降低的区域面积为24.14%。全国第二次土壤普查时，潮土区土壤速效钾主要分布在一、二、三级，面积占到了70%以上。到本世纪初，二、三级的土壤速效钾面积在增加，而一级和四、五级的面积在减少，认为是钾素丰富的地区不需要施钾肥，使速效钾含量降低。

水稻土区土壤速效钾含量变化范围在±25 mg/Kg之内的面积占83%，是变化部分的主体。从面积来看，土壤速效钾下降的部分超过50%，下降是主要的趋势。从空间上来看，下降幅度最大的在江苏溧阳，浙江桐乡、平湖、海盐，上海南汇、金山部分地区。速效钾增加的部分主要分布在环湖的地区、江苏镇江和丹阳、上海奉贤、青浦、松江以及浙江余杭、德清等地。从土壤速效钾等级面积来看，变化量并不是很大，其中以四级增加最多，面积增加18.2万公顷，三级仅有少量增加，一级、二级和五级都一定程度减少，减少量也比较接近，约在6万多公顷。总体来看，土壤速效钾变差。从空间来看，1980年代一级区主要分布在上海以及太湖流域西部丘陵山区周围的地方，二级区分布在上海沿海以及浙江平湖和海盐等地。而到了2000年，这些地方分别下降一个级别。沿太湖北部和东部地区在20年前以三级为主，到2000年变化也很小。太湖南部湖州浙江桐乡西部有部分地区从三级变为四级。这些结果说明，尽管太湖地区施肥量较高，但钾肥的施用仍然不足，使土壤钾素亏缺。

20年来红壤区的兴国县土壤速效钾含量的变化是以下降为主，下降的面积占总面积的67.2%，其中速效钾含量降幅在0-50mg/kg的面积最大，占总面积的

62.6%，主要分布在兴国县的中、西部。兴国县有32.8%的地区的土壤速效钾含量是增加的，增幅在0-50mg/kg的地区占总面积的32%。鹰潭地区20年来土壤速效钾含量的变化则以增加为主，有71.6%的地区土壤速效钾含量呈增加趋势，其中有6.8%的地区增加幅度在100mg/kg以上，仅28.4%的地区土壤速效钾含量是降低的，主要分布在进贤县中部和铅山县北部地区。红壤本身钾含量很低，再加上表面的正电荷特性，对钾的固持能力较弱，钾含量降低将严重制约土壤生产力的提高。要改变这一变化趋势，除要大量增加钾肥投入外，还要改善土壤的酸化状况，增加有机肥的投入，提高土壤对阳离子的固持能力。

6、土壤重金属和有机污染物空间分异

土壤健康质量的研究结果表明，研究区域内土壤健康质量总体良好，只是局部地区出现了不同类型和程度的污染。黑土区97.9%面积的土壤属于清洁区，2.1%面积的属于警戒范围，重金属含量都接近或略高于土壤背景值，目前尚没有受到重金属（锌、铜、铅、铬、镉、硒、汞、镍、锰）和农药（六六六、DDT）的污染或污染程度很低，黑土区是绿色食品生产的理想基地。潮土区清洁和尚清洁的土壤占潮土面积98.7%，1.3%的面积属于警戒范围。其中部分地区出现镉的重金属污染，仅占1.4%，目前尚没有受到其他重金属污染，也基本没有农药（六六六、DDT）的污染。水稻土区清洁和尚清洁土壤占水稻土总面积的95.7%，轻度污染占3.8%，而中度和严重污染占0.4%。其中局部地区出现的汞、铜重金属污染分别占水稻土面积的9.4%和0.06%，DDT轻度污染，土壤DDT环境质量一级占65.2%，二级占34.8%，没有发现三级土壤分布。红壤健康质量总体良好，只有很少的局部地区和矿区出现不同类型和程度的重金属污染。