

施肥条件下瘠薄红壤的物理肥力恢复特征^①

李忠佩 林心雄 程励励

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 在中国科学院红壤生态开放实验站布置田间长期定位试验, 研究施肥条件下瘠薄红壤的肥力恢复特征, 本文报道土壤物理性状的变化。结果表明, 施用有机肥处理的大团聚体含量比单施化肥处理高 100~150g/kg。施用有机肥 6 年, 旱作条件下大团聚体含量达到 500~600g/kg, 已接近丰产桔园红壤的含量水平, 而单施化肥处理为 400~450g/kg, 比一般红壤条件还低。耕种 6 年后, 红壤的容重降至 0.9~1.1mg/cm³。施用有机肥还提高土壤的总孔隙度 1%~8%; 提高传导孔隙的比例 3%~20%; 使 >200 μ m 孔隙的比例达到 9.6%~18.9%, 平均 14.6%, 接近丰产桔园的水平; 提高田间持水量 0.7%~4.5%, 显著增强土壤的持水能力。因此, 有机肥施用是恢复和保持红壤物理肥力的重要而有效的措施。

关键词 瘠薄红壤; 施肥; 物理性状

中图分类号 S158

我国热带亚热带地区国土面积 218 万 km², 水热资源丰富, 具有巨大的生产潜力, 是重要的粮、油、果生产基地。但长期以来, 由于人为的不合理利用, 导致普遍的土壤退化现象, 形成大面积的退化土壤。这类土壤以酸、粘、板、瘠、旱为主要肥力特征^[1-5], 但由于其主要分布在地表起伏和缓、自然及水源条件好的低丘岗地上, 恢复利用的可能性大, 是近期农业开发的重点, 其开发的成败对于本区农业的持续发展和环境建设也将产生重大影响, 已引起农业科学家的普遍重视。我们从 1988 年以来, 在中国科学院红壤生态试验站开展长期田间定位试验, 研究施肥条件下瘠薄红壤的肥力恢复特征, 结果可为制订合理的保持区域农业持续发展的管理措施提供科学依据。本文报道这一研究的部分结果。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验布置在中国科学院红壤生态实验站, 地处东经 116°5'30", 北纬 28°5'30", 属亚热带季风气候区, 年均温 17.8 °C, 年降雨量 1785mm, 年蒸发量 1318mm, 降雨集中于每年的 3~6 月, 无霜期 261 天。

1.2 田间微区试验

为了严格比较不同母质发育的瘠薄红壤上, 不同利用方式、不同施肥种类、不同施肥水平条件下

土壤肥力的演变特征, 在中国科学院红壤生态实验站设置了微区试验。微区的面积为 1m²(1m×1m), 每一微区用砖石砌成的壁与周围的土壤分开。壁高 65cm, 露出地表 15cm, 深入地下 50cm。微区内 0~50cm 段的土壤已先移去, 然后按计划将各供试土壤按表土、亚表土分层置入微区内。供试土壤的理化性状及试验处理的设置见表 1、2。在每季作物栽种前, 按计划施入肥料。田间管理与大田条件下相同。试验于 1988 年秋季布置, 1994 年 11 月在田间采集原状土样及环刀样, 以供分析用。

表 1 供试红壤的理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of infertile red soils tested

| 母质类型 | pH | 粘粒含量 (<0.002mm) (g/kg) | C (g/kg) | N (g/kg) | C/N |
|---------------|------|------------------------------|-------------|-------------|------|
| 第三纪红砂岩 风化物 | 4.87 | 200.0 | 5.10 | 0.48 | 10.6 |
| 第四纪红色粘土 | 4.55 | 398.0 | 3.28 | 0.43 | 7.6 |
| 过渡型母质 | 4.72 | 392.0 | 1.12 | 0.34 | 3.3 |

表 2 试验处理

Table 2 Experiment treatments

| 轮作制 | 施肥处理 | 肥料用量 (kg/(hm ² ·季)) |
|---------|--|--|
| 旱作 | N ₂ P ₂ K ₂ | N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀ |
| (大麦-小米) | N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 1 | N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀ +猪粪 2250 |
| | N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 2 | N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀ +猪粪 4500 |
| 水旱轮作 | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀ +稻草 2250 |
| 大麦-中稻) | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀ +稻草 4500 |

①国家重点基础研究规划项目 (G1999011801) 和国家自然科学基金重大项目 (39899370) 资助。

1.3 测定方法

土壤团聚体采用湿筛法、微团聚体以及颗粒组成采用吸管法测定,土壤容重采用环刀法测定^[6]。

土壤的孔隙分布及土壤水吸力采用石英砂—高岭土吸力平板仪测定^[7]。通过在不同吸力条件下测定土壤含水量,经转换后得到。其基本原理是,土壤中不同孔径的孔隙,具有对水分不同的吸持力,孔隙孔径越小,吸持力越大。因而可以用吸持力同孔隙孔径的对应关系,从不同吸持力下土壤的水分含量,了解一定孔径区间的孔隙比例。

土壤有机C用丘林法^[8],土壤全N用半微量克氏法^[8],土壤pH用电位计法^[6]。

2 结果与讨论

2.1 团聚体、微团聚体含量及颗粒组成

土壤团聚体深受耕作施肥等各种人为因素的影响,其形成主要与有机胶结物功能团和颗粒或粘团表面的氢键联结有关。试验结果表明(表3),有机肥的施用可以明显提高大团聚体(>0.25mm)的含量。在旱作条件下,施用有机肥6年,大团聚体含量达到500~600g/kg,已基本接近丰产桔园红壤的含量水平;而单施化肥处理为400~450g/kg,比一般红壤条件还低^[9]。在水旱轮作条件下,施用6年有机

肥处理的大团聚体含量达到550~770g/kg,而单施化肥处理为500~600g/kg。总体来说,施用有机肥处理的大团聚体含量比单施化肥处理高100~150g/kg。而在旱作上的效果又比水旱轮作更明显。由于大团聚体的含量与土壤结构的稳定性有非常密切的关系^[9],因此,有机肥的施用对于红壤结构的形成和保持是非常重要的;特别是旱作红壤,有机肥的施用对于土壤生产力的形成和提高至关重要。

在不同粒级的大团聚体中,有机肥的施用是提高>1mm团聚体含量上的作用尤其明显,施用有机肥可以提高>5mm团聚体含量1~7倍。结果还表明,在相同施肥处理的情况下,水旱轮作的土壤大团聚体含量明显高于旱作,水旱轮作6年,土壤大团聚体含量比旱作增加60~130g/kg。施用腐熟的猪粪在增加大团聚体上的效果要优于施用稻草。有机肥施用在增加大团聚体含量上的效果还因不同母质类型而异,第三纪红砂岩风化物>过渡型母质>第四纪红色粘土。

不同处理之间土壤微团聚体含量的变化与团聚体有相同的趋势。施用有机肥可以明显提高2~0.2mm和0.02~0.002mm团聚体的含量,降低0.2~0.02mm和<0.002mm微团聚体含量,变化的幅度旱作处理明显高于水旱轮作处理。

表3 不同施肥处理对土壤团聚体和微团聚体分布的影响

Table 3 Effect of fertilization treatments on distribution of aggregate and microaggregate in infertile red soils

| 利用方式及轮作制 | 母质类型 | 施肥处理 | 团聚体含量 (g/kg) | | | | | | 微团聚体含量 (g/kg) | | | | |
|-----------------|-------|--|--------------|--------|--------|--------|----------|-------------|---------------|----------|-------------|---------------|-----------|
| | | | >5mm | 5~3 mm | 3~2 mm | 2~1 mm | 1~0.5 mm | 0.5~0.25 mm | <0.25 mm | 2~0.2 mm | 0.2~0.02 mm | 0.02~0.002 mm | <0.002 mm |
| 旱作 (大麦-小米) | 第三纪红砂 | N ₂ P ₂ K ₂ | 15.1 | 15.7 | 15.8 | 27.6 | 72.3 | 247.0 | 606.0 | 90.0 | 717.0 | 118.0 | 75.0 |
| | 岩风化物 | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 126.0 | 43.6 | 25.1 | 36.3 | 96.5 | 200.0 | 473.0 | 107.0 | 693.0 | 160.0 | 40.0 |
| | 第四纪红色 | N ₂ P ₂ K ₂ | 30.6 | 17.9 | 20.5 | 38.8 | 99.7 | 192.0 | 600.0 | 51.0 | 871.0 | 78.0 | 0.0 |
| | 粘土 | N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 2 | 135.0 | 39.0 | 31.9 | 59.0 | 130.0 | 145.0 | 460.0 | 78.0 | 573.0 | 257.0 | 92.0 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 137.0 | 32.6 | 19.3 | 51.9 | 98.5 | 152.0 | 509.0 | 77.0 | 767.0 | 155.0 | 1.0 |
| | 过渡型母质 | N ₂ P ₂ K ₂ | 73.5 | 62.6 | 35.7 | 48.3 | 97.8 | 141.0 | 541.0 | 94.0 | 600.0 | 233.0 | 73.0 |
| 水旱轮作 (大麦-中稻) | 第三纪红砂 | N ₂ P ₂ K ₂ | 76.1 | 29.4 | 18.8 | 40.1 | 88.5 | 245.0 | 502.0 | 86.0 | 676.0 | 183.0 | 55.0 |
| | 岩风化物 | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 198.0 | 48.1 | 26.1 | 36.3 | 77.2 | 200.0 | 415.0 | 88.0 | 682.0 | 177.0 | 53.0 |
| | 第四纪红色 | N ₂ P ₂ K ₂ | 117.0 | 24.9 | 26.4 | 61.1 | 125.0 | 176.0 | 470.0 | 45.0 | 546.0 | 286.0 | 123.0 |
| | 粘土 | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 121.0 | 35.3 | 27.1 | 62.6 | 130.0 | 187.0 | 437.0 | 72.0 | 525.0 | 293.0 | 110.0 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ | 136.0 | 53.5 | 29.6 | 51.4 | 136.0 | 184.0 | 410.0 | 77.0 | 448.0 | 327.0 | 148.0 |
| | 过渡型母质 | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 247.0 | 65.2 | 41.0 | 63.5 | 117.0 | 142.0 | 325.0 | 87.0 | 465.0 | 321.0 | 127.0 |

不同施肥和轮作处理对土壤颗粒组成的影响较小(表 4), 这是因为颗粒组成的变化是一个长期过程, 而本试验进行的时间还较短。通过施肥提高土壤的熟化程度, 粘重土壤的粘粒含量应相应下降,

表 4 不同施肥处理对土壤颗粒组成分布的影响
Table 4 Effect of fertilization treatments on distribution of particle size in infertile red soils

| 利用方式及 轮作制 | 母质类型 | 施肥处理 | 颗粒组成(各粒级占土重的%) | | | |
|-----------------|--|--|----------------|------------|--------------|----------|
| | | | 2~0.2mm | 0.2~0.02mm | 0.02~0.002mm | <0.002mm |
| 早作 (大麦-小米) | 第三纪红砂岩风 化物 | N ₂ P ₂ K ₂ | 8.0 | 56.4 | 15.5 | 20.1 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 7.2 | 58.4 | 14.4 | 20.0 |
| | 第四纪红色粘土 | N ₂ P ₂ K ₂ | 1.9 | 30.5 | 27.8 | 39.8 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 2 | 2.3 | 27.7 | 28.2 | 41.8 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 2.2 | 29.4 | 28.7 | 39.7 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ | 0.6 | 30.3 | 29.9 | 39.2 |
| 过渡型母质 | N ₂ P ₂ K ₂ | 0.7 | 27.6 | 30.4 | 41.3 | |
| | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 0.6 | 27.6 | 30.4 | 41.3 | |
| 水旱轮作 (大麦-中稻) | 第三纪红砂岩风 化物 | N ₂ P ₂ K ₂ | 6.1 | 52.3 | 18.5 | 23.1 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 5.7 | 54.2 | 17.8 | 22.3 |
| | 第四纪红色粘土 | N ₂ P ₂ K ₂ | 2.6 | 29.6 | 28.5 | 39.3 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 2.5 | 29.8 | 29.2 | 38.5 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ | 1.3 | 26.9 | 29.9 | 41.9 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 1.4 | 27.6 | 28.6 | 42.4 |

这种趋势将会随着试验进行时间的延长而得到明确。

2.2 容重

中国科学院红壤生态实验站站区范围内土壤的容重多在 1.3mg/m³ 以上, 平均为 1.31mg/m³[10]。通过耕作施肥, 可以明显降低土壤容重。结果表明(表 5), 耕种 6 年后, 红壤的容重降至 0.9~1.1mg/m³, 因

此, 合理的翻耕对于降低土壤容重, 增加通透性有显著作用。许多研究表明^[11,12], 有机肥施用可以明显降低土壤容重, 本项研究中施用有机肥处理的土壤容重低于单施化肥处理, 并随有机肥施用量增加而差异增大, 但差异并不明显, 这可能是耕翻掩盖了这种差异, 也可能跟试验时间较短有关。

表 5 不同施肥处理土壤的容重变化

Table 5 Changes in bulk density of infertile red soils with fertilization treatments

| 利用方式 及轮作制 | 母质类型 | 施肥处理 | 土壤容重 (mg/m ³) | 利用方式 及轮作制 | 母质类型 | 施肥处理 | 土壤容重 (mg/m ³) |
|---------------|--|--|------------------------------|-----------------|--|--|--|
| 早作 (大麦-小米) | 第三纪红砂岩 风化物 | N ₂ P ₂ K ₂ | 1.09 | 水旱轮作 (大麦-中稻) | 第三纪红砂岩 风化物 | N ₂ P ₂ K ₂ | 1.16 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | 0.97 | | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | 1.08 |
| | 第四纪红色粘 土 | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 0.98 | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 0.96 | |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ | 0.92 | | 第四纪红色粘 土 | N ₂ P ₂ K ₂ | 1.07 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 1 | 0.88 | | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | 0.92 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 2 | 0.86 | | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 0.97 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | 0.92 | | | 过渡型母质 | N ₂ P ₂ K ₂ |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 0.87 | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | | 0.98 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ | 0.88 | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | | 0.85 |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | 0.88 | | | | |
| 过渡型母质 | N ₂ P ₂ K ₂ | 0.88 | | | | | |
| | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 0.87 | | | | | |

2.3 土壤孔隙分布

施用有机肥料可以提高土壤的总孔隙度

1%~8%, 平均 3.6 %; 毛管孔隙度增加, 非毛管孔隙度降低。

土壤颗粒的不同排列所形成的不同大小的孔隙及其分布,是评价土壤结构的极重要的内容。 $>50\mu\text{m}$ 的孔隙称传导孔隙,能通气和排除多余的水分; $50\sim 0.5\mu\text{m}$ 孔隙称贮存孔隙,主要是贮存水分,供植物吸收; $<0.5\mu\text{m}$ 孔隙称残留孔隙。通常认为传导孔隙和贮存孔隙要超过10%(占土体),才有利于透水、通气和贮存植物所需水量。表6结果表明,施用有机肥可以提高传导孔隙的比例3%~20%,平均提高7.6%。施用有机肥6年的处理,传导孔隙占土体的比例与丰产桔园相近,而单施化肥处理仍保持未经

耕作的荒草地的水平^[9]。这进一步表明,有机肥施用在提高水分传导率和增加土壤通透性上的显著作用。

通常,作物根系的最小直径在 $60\mu\text{m}$ 以上,主要农作物根系的直径 $>100\mu\text{m}$ 。因此,增加 $>200\mu\text{m}$ 孔隙的比例有利于植物根系生长对空间的需要。施用有机肥处理, $>200\mu\text{m}$ 孔隙的比例为9.6%~18.9%,平均14.6%;单施化肥处理的相应值为8.8%~14.7%和12.5%;也分别是丰产桔园和一般荒草地红壤的水平。

表6 不同施肥处理的土壤总孔隙和各级当量孔隙变化

Table 6 Changes in total and equivalent porosity of infertile red soils in fertilization treatments

| 利用方式 及轮作制 | 母质 类型 | 施肥处理 | 总孔 隙度 (%) | 毛管孔 隙度 (%) | 非毛管 孔隙度 (%) | 各级当量孔隙的分布(占土体%) | | | | | | |
|--------------|----------|---------------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | | | | | | <1200 μm | $1200\sim 200$ μm | $200\sim 100$ μm | $100\sim 50$ μm | $50\sim 10$ μm | $10\sim 5$ μm | <5 μm |
| 旱作 | 第三纪 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ | 58.9 | 49.2 | 9.7 | 49.2 | 8.8 | 1.0 | 0.9 | 20.7 | 2.0 | 15.9 |
| (大麦- 小米) | 红砂岩 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草1 | 63.4 | 54.7 | 8.7 | 54.7 | 10.8 | 1.5 | 1.7 | 24.1 | 1.5 | 15.2 |
| | 风化物 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草2 | 63.0 | 54.0 | 9.0 | 54.0 | 11.1 | 1.4 | 1.4 | 23.3 | 1.9 | 15.1 |
| | 第四纪 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ | 65.3 | 56.0 | 9.3 | 56.0 | 13.4 | 0.85 | 1.4 | 18.2 | 1.5 | 20.7 |
| | 红色粘 土 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +猪粪1 | 66.8 | 58.3 | 8.5 | 58.3 | 15.6 | 0.85 | 1.8 | 15.9 | 3.3 | 20.9 |
| | | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +猪粪2 | 67.5 | 55.9 | 11.6 | 55.9 | 16.5 | 0.65 | 2.2 | 14.8 | 2.1 | 19.8 |
| | | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草1 | 65.3 | 55.4 | 9.9 | 55.4 | 14.1 | 0.75 | 1.7 | 17.1 | 1.7 | 20.2 |
| | | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草2 | 67.2 | 58.2 | 9.0 | 58.2 | 13.9 | 7.2 | 7.9 | 6.0 | 3.4 | 20.0 |
| | 过渡型 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ | 66.8 | 56.0 | 10.8 | 56.0 | 14.5 | 1.3 | 1.4 | 13.3 | 1.5 | 24.1 |
| | 母质 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草1 | 66.8 | 60.5 | 6.3 | 60.5 | 13.9 | 7.4 | 7.0 | 5.3 | 3.1 | 23.9 |
| | | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草2 | 67.2 | 57.6 | 9.6 | 57.6 | 16.3 | 5.5 | 5.4 | 3.6 | 3.0 | 23.8 |
| 水旱轮作 | 第三纪 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ | 56.2 | 50.4 | 5.8 | 50.4 | 10.7 | 0.45 | 1.1 | 14.7 | 2.7 | 20.9 |
| (大麦- 中稻) | 红砂岩 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草1 | 59.2 | 56.5 | 2.7 | 56.5 | 9.6 | 7.1 | 9.0 | 7.5 | 5.5 | 17.9 |
| | 风化物 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草2 | 63.8 | 58.2 | 5.6 | 58.2 | 16.6 | 6.9 | 6.8 | 6.0 | 3.2 | 18.9 |
| | 第四纪 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ | 59.6 | 55.1 | 4.5 | 55.1 | 12.9 | 3.4 | 4.4 | 4.0 | 4.1 | 26.5 |
| | 红色粘 土 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草1 | 65.3 | 56.1 | 9.2 | 56.1 | 15.6 | 4.9 | 4.7 | 4.8 | 2.6 | 23.6 |
| | | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草2 | 63.4 | 60.3 | 3.1 | 60.3 | 16.5 | 5.6 | 5.8 | 5.0 | 3.5 | 24.0 |
| | 过渡型 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ | 61.5 | 60.8 | 0.7 | 60.8 | 14.7 | 4.0 | 4.2 | 4.5 | 3.4 | 30.2 |
| | 母质 | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草1 | 63.0 | 59.9 | 3.1 | 59.9 | 14.7 | 4.2 | 3.6 | 3.3 | 2.9 | 31.3 |
| | | $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ +稻草2 | 67.9 | 62.2 | 5.7 | 62.2 | 18.9 | 0.2 | 1.6 | 9.6 | 2.1 | 29.8 |

2.4 不同吸持力下的土壤含水量

土壤持水特性决定着土壤的保水供水性能。一般认为 $3\times 10^4\text{Pa}$ 土壤吸力时的土壤含水量是田间持水量水平^[13]。有机肥料的施用可以提高田间持水量0.7%~4.5%,平均2.0%(表7)。提高的幅度有随有机肥用量而增高的趋势。特别是对于粘粒含量达到40%左右的第四纪红色粘土和过渡型母质发育红壤,田间持水量增加的程度高于粘粒含量为20%的

第三纪红砂岩风化物发育的红壤,表明有机肥施用在改善粘重土壤的保水和供水能力上可能发挥更大作用。

本项研究没有测定 $1.5\times 10^5\text{Pa}$ 吸力时的土壤含水量(萎焉含水量),所以不能衡量不同处理的有效水含量的差异。仅比较 $3\times 10^4\text{Pa}\sim 9\times 10^4\text{Pa}$ 的水分释放量结果,可以表明,施用有机肥处理在这两个吸力段之间的水分释放量要比单施化肥处理高

0.2%~2.6%，平均高 1.2%。由于高吸力段的土壤持水能力主要取决于土壤中的粘粒含量，因此，通过施用有机肥提高田间持水量也将意味着增加有效水

含量。对于经常遭受季节性干旱影响的红壤地区，这种水分状况的改善在遇到干旱时可能有重要意义。

表 7 不同施肥处理在不同吸持力下的土壤含水量变化

Table 7 Effects of fertilization treatments on water content of red soils different in retention capacity

| 利用方式 及轮作制 | 母质 类型 | 施肥处理 | 不同吸持力(毫巴)下土壤含水量(%) | | | | | | | | 拟合方程 | R ² | |
|-------------------|--|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| | | | 2.5 | 15 | 30 | 60 | 100 | 300 | 600 | 900 | | | |
| 旱作 (大麦- 小米) | 第三纪 红砂岩 风化物 | N ₂ P ₂ K ₂ | 45.3 | 37.2 | 36.2 | 35.4 | 32.9 | 16.5 | 14.7 | 12.9 | Y=-5.902Ln(x)+ 54.435 | 0.9047 | |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | 56.2 | 45.2 | 43.7 | 41.9 | 36.1 | 17.2 | 15.7 | 13.9 | Y=-7.798Ln(x)+ 67.493 | 0.9309 | |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 55.2 | 43.8 | 42.4 | 41.1 | 37 | 17.3 | 15.4 | 13.4 | Y=-7.595Ln(x)+ 66.075 | 0.9242 | |
| | 第四纪 红色粘 土 | N ₂ P ₂ K ₂ | 60.7 | 46.2 | 45.3 | 43.8 | 39.3 | 24.1 | 22.4 | 20.4 | Y=-7.021Ln(x)+ 68.167 | 0.9548 | |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 1 | 66.2 | 48.6 | 47.6 | 45.6 | 40.4 | 27.6 | 23.8 | 21.3 | Y=-7.565Ln(x)+ 72.881 | 0.9759 | |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +猪粪 2 | 65.4 | 46.1 | 45.4 | 42.8 | 38.7 | 25.5 | 23.1 | 21.2 | Y=-7.404Ln(x)+ 70.574 | 0.9725 | |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | 60.4 | 45.1 | 44.2 | 42.4 | 38.5 | 23.8 | 22 | 20.2 | Y=-6.942Ln(x)+ 67.121 | 0.9634 | |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 66.8 | 50.9 | 42.6 | 33.6 | 31.8 | 26.7 | 22.9 | 21.7 | Y=-7.667Ln(x)+ 70.311 | 0.9582 | |
| | | 过渡型 母质 | N ₂ P ₂ K ₂ | 63.9 | 47.4 | 46 | 44.4 | 41.4 | 29.3 | 27.6 | 26.7 | Y=-6.280Ln(x)+ 68.021 | 0.9677 |
| | 水旱轮作 (大麦- 中稻) | 第三纪 红砂岩 风化物 | N ₂ P ₂ K ₂ | 43.7 | 34.45 | 34.05 | 33.15 | 31.35 | 20.45 | 18.1 | 16.5 | Y=-4.691Ln(x)+ 49.272 | 0.9438 |
| | | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | 52.55 | 43.45 | 36.9 | 28.6 | 26.5 | 21.65 | 16.55 | 15.35 | Y=-6.582Ln(x)+ 58.683 | 0.9813 |
| | | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 61 | 43.65 | 36.5 | 29.35 | 27.8 | 23.1 | 19.8 | 18.65 | Y=-7.007Ln(x)+ 62.812 | 0.9486 |
| 第四纪 红色粘 土 | | N ₂ P ₂ K ₂ | 52 | 39.9 | 36.75 | 32.6 | 31.7 | 28.85 | 24.95 | 23.8 | Y=-4.533Ln(x)+ 53.438 | 0.9662 | |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | 61.5 | 44.35 | 39 | 33.85 | 32.65 | 28.7 | 25.9 | 24.8 | Y=-5.894Ln(x)+ 61.857 | 0.9341 | |
| | | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 62.25 | 45.25 | 39.55 | 33.55 | 32.4 | 28.35 | 24.8 | 23.75 | Y=-6.253Ln(x)+ 63.703 | 0.9451 | |
| 过渡型 母质 | N ₂ P ₂ K ₂ | 59.6 | 45.25 | 41.35 | 37.2 | 36.2 | 32.85 | 29.6 | 28.5 | Y=-4.967Ln(x)+ 60.316 | 0.9489 | | |
| | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 1 | 61.15 | 46.1 | 41.85 | 38.25 | 37.35 | 34.85 | 31.95 | 30.35 | Y=-4.780Ln(x)+ 60.923 | 0.9230 | | |
| | N ₂ P ₂ K ₂ +稻草 2 | 72.85 | 50.75 | 50.55 | 48.65 | 46 | 37.35 | 34.95 | 32.55 | Y=-6.250Ln(x)+ 73.758 | 0.9398 | | |

对不同吸持力下土壤的含水量进行拟合，得到拟合关系式 $Y = a - bLn(x)$ ，式中 Y 为土壤含水量(%)， X 为土壤吸持力(Pa)。不同处理持水量和吸持力之间的关系式列于表 7，从方程式中的常数

项 a 、 b 的差异可以比较不同处理对土壤比水容量的影响，因为比水容量随 a 、 b 值的升高而增大，且比水容量越大则持水性能越好^[14]。表中结果表明，有机肥施用处理方程式的 a 、 b 值均高于单施化肥处

理,反映了有机肥施用对提高土壤持水能力的作用。

3 结 论

我国南方红壤地区大面积开垦利用荒地的时期虽然已经过去,但已经开垦利用的土壤的治理利用是一项长期而繁重的任务。红壤开垦后由于结构胶结物质的减少而导致团聚体的迅速下降似乎是一个普遍现象,应引起重视。通过施用有机肥,可以增加大团聚体的含量,降低土壤容重,提高通气透水孔隙的比例和土壤的持水供水能力,是恢复和保持红壤物理肥力的重要而有效的措施。

参考文献

- 1 张桃林主编. 中国红壤退化机制与防治. 北京: 中国农业出版社, 1999, 138
- 2 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵区土壤肥力的综合评价. 土壤学报, 1995, 32(4): 362~369
- 3 姚贤良, 许绣云等. 红壤的库容及其对抗旱性能的影响. 见: 王明珠, 张桃林, 何园球主编. 红壤生态系统研究(第二集). 南昌: 江西科学技术出版社, 1993, 262~268
- 4 于德芬, 姚贤良. 关于红壤有效水范围的探讨. 见: 王明珠, 张桃林, 何园球主编. 红壤生态系统研究(第二集). 南昌: 江西科学技术出版社, 1993, 269~274
- 5 张斌, 张桃林. 南方东部丘陵地区季节性干旱成因及对策研究. 生态学报, 1995, 15(4): 413~419
- 6 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978, 593
- 7 刘光崧主编. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996, 266
- 8 文启孝主编. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984, 318
- 9 许绣云, 姚贤良. 红壤生态站土壤的结构状况. 见: 王明珠, 张桃林, 何园球主编. 红壤生态系统研究(第二集). 南昌: 江西科学技术出版社, 1993, 255~261
- 10 许绣云, 姚贤良. 红壤生态站土壤物理性质研究. 见: 石华主编. 红壤生态系统研究(第一集). 北京: 科学出版社, 1992, 93~101
- 11 赵其国, 谢为民等主编. 江西红壤. 南昌: 江西科学技术出版社, 1988, 488
- 12 李忠佩, 唐永良等. 不同施肥制度下红壤稻田的养分循环与平衡. 中国农业科学, 1998, 31(1): 46~54
- 13 姚贤良, 于德芬. 红壤的物理性质及其生产意义. 土壤学报, 1982, 19(3): 224~236
- 14 杨艳生. 第四纪红粘土区侵蚀土壤的退化特性. 见: 王明珠, 张桃林, 何园球主编. 红壤生态系统研究(第二集). 南昌: 江西科学技术出版社, 1993, 303~311

EFFECT OF FERTILIZER APPLICATION ON PHYSICAL PROPERTIES OF INFERTILE RED SOILS

Li Zhongpei Lin Xinxiong Cheng Lili

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract A long-term field experiment was conducted at the Ecological Experimental Station of Red soil, Chinese Academy of Sciences in order to investigate rehabilitation of fertility in infertile red soils with application of fertilizers. The results showed changes in soil physical properties. The content of macroaggregates in the infertile red soils in the treatment of organic manure application was 100~150g/kg higher than that in the treatment of inorganic fertilizer application. Under upland conditions, in the infertile red soils that had been fertilized with organic manure for 6 years, the macroaggregate content reached 500~600g/kg, close to the level of the red soil in a high-yield citrus orchard. However, six-year application of inorganic fertilizers left the red soil 400~450g/kg of macroaggregates, which was lower than that in the red soil of CK. After cultivation for 6 years with organic manure, bulk density of the infertile red soils decreased to 0.9~1.1mg/m³. The application of organic manure also increased total soil porosity by 1%~8%, ratio of soil conducting pore space by 3%~20%, ratio of >200μm pore space to 9.6%~18.9% with an average of 14.6%, and field moisture capacity by 0.7%~4.5%. Therefore, application of organic manure was an important and effective measure for rehabilitation and maintenance of physical fertility of red soil.

Key words Infertile red soils, Fertilization, Physical properties