

半湿润地区改良风沙土土壤性质研究*

冯 起

(中国科学院兰州冰川冻土研究所·兰州市·730000)

摘 要 分析了改良前后半湿润沙荒地的机械组成、土壤物理性状、化学性质和土壤水分特征的变化,结果表明半湿润沙地改良后,0~100 cm 土层的细沙粒和粉沙粒数量增加,粗沙粒数量减少;土壤抗风蚀性增加6~10倍;土壤保水性能大大增加;壤质沙土的土壤水分含量提高了50%~100%;有机质增加了1~3倍。证明了半湿润风沙土地逆转的可能性。中图分类号: S156.43, S152
关键词: 半湿润地区 土壤理化性状 风沙土逆转 人为改良

Properties of Ameliorated Sandy Land Soil in Semi-humid Area

Feng Qi

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000, PRC)

Abstract The mineral component, mechanical composition, physical and chemical properties, soil water content and variation of sandy soil in semi-humid region before and after amelioration are analyzed. The result shows the amount of fine sands and sub-clay increase, while coarse sands decrease after the sandy land is renovated by human through 4~5 years. Also, the erosion resistance of sandy soil raise 6~10 times and the property of preserve moisture and fertility in sandy soil under human renovation is greatly improved. So the renovated sandy land is fit for vegetation growing, of which water content raises 50%~10%, and the organic matter increase 1~3 times. This study proves the possibility of sandy land to be renovated in semi-humid region.

Keywords: semi-humid area; soil properties; sandy land reversion; human renovation

黄淮海平原是我国古文明的发祥地之一,开发历史悠久,但沙区的开发历史较短。目前黄淮海平原风沙土地面积约占平原总面积的 $1/4^{[1]}$,由于国民经济发展的需要,开发黄淮海平原沙荒地和盐碱地成为“九五”、“十五”的重点攻关课题,经过科研人员和当地人民进行艰苦努力,现已在山东省建立起大片风沙土改良试验地,并进行积极地推广,初见成效。风沙土改良试验地的土壤特征有很大的变化,并逐渐由沙荒地变成丰产田。本文就5个方面分析风沙化土地改良后土壤性质的变化,以供进一步研究。

1 土壤物理性质的变化

风沙土(细沙土)主要分布在流沙地或沙丘上,其剖面特征如下:0~10 cm,细沙土,表层松

散无结构,根毛较多,细孔多,浅黄色,较干;10~70 cm,松散,细沙土,无结构,有毛根分布,黄色,较湿润;70~110 cm,细沙土,黄褐色,无结构,较紧,毛根分布,较湿润。

壤质沙土主要分布在平沙地上,属于人工改良后的土壤,以细沙(0.05~0.25 mm)为主,占75%~85%,而粉沙(0.01~0.05 mm),占12%左右。其剖面特征如下:0~20 cm,较湿,黄黑色,有团粒结构,中等松紧度,孔隙分布中等,多细根,有机质含量高;20~80 cm,较湿,呈黄褐色,有团粒结构,中等松紧度,孔隙分布,根系分布较多,有时可见侵入体,有腐根出现,沙性

表 1 半湿润沙地主要土壤水分物理常数 %

| 土 质 | 风 沙 土 | 壤 质 沙 土 |
|---------------------------|-------|---------|
| 密 度/($g \cdot cm^{-3}$) | 2.56 | 2.72 |
| 容 重/($g \cdot cm^{-3}$) | 1.53 | 1.38 |
| 孔隙度 | 43.4 | 48.4 |
| 空气容量* | 17.6 | 78.4 |
| 毛管上升高 | 73.4 | 92.1 |
| 最大吸湿量* | 1.35 | 1.48 |
| 凋萎湿度* | 2.48 | 2.7 |
| 最小分子持水量* | 7.43 | 8.11 |
| 田间持水量* | 16.62 | 22.22 |
| 饱和含水量* | 29.0 | 29.0 |

注:* 表示体积百分数。

明显的变化。壤质沙土的最大分子持水量、田间持水量比沙土增加了50%~80%。沙土的毛管上升高度为70 cm,而壤质沙土为90 cm(表1)。沙土的渗透率较大(见表2),比壤质土大50%,说明风沙土渗透快,不易保持水分,降水较易渗入土壤底层,发生水分渗漏。沙土和壤质沙土的孔隙度差别不大,所以饱和水量相差不大,由于沙土粘粒少,因而引起沙土保水能力差,使田间含水量大大地降低,导致空气容量增加。尤其是改良前后的0.01 mm的物理粘粒的含量变化极大地影响土壤水分的变化。

2 土壤机械组成的变化

经土壤粒度分析,风沙土、壤质沙土、沙质壤土粒径累积分布曲线(图1)。可按粒径组成的比例可以把研究区的土壤分成沙土、壤质沙土和沙质壤土3大类(按美国农业部制 USDA, 1952)^[2],其土质分别为沙壤土和沙土类。

从当地几种不同土壤的粒度特征值看:风沙土平均粒径比沙土的平均粒径小。壤质沙土内部细颗粒增加,尤其是反映土壤好坏状况的粘粒在成倍增加。分选性代表环境指标,其沙地几种土壤分选差别明显,风沙土分选性变化在0.48~0.58之间,平均为0.53,属于分选好的土壤(表3);壤质沙土分选性变化在0.53~1.59,平均为0.78,而沙质壤土变化在0.59

不强;80~110 cm,很湿,褐色或黄褐色,团粒结构不明显,中等松紧度,植物根系分布较少,有少量动物穴。

沙质壤土分布在地形平坦,长期耕作的农田地,团粒结构相对较好。本文研究壤质沙土和风沙土的水文物理性质如表1。从表1中可以看出风沙土壤密度为 $2.56 g/cm^3$,沙质壤土为 $2.72 g/cm^3$,增加了7%,而土壤容重减小了15%,孔隙度明显增加,而空气容量减小。最大分子持水量、田间持水量、毛管上升高度均发生

表 2 不同类型土壤渗透测定结果

| 土 质 | 深度/cm | 渗透系数 K | K ₁₀ |
|---------|-------|--------|-----------------|
| 风 沙 土 | 0~10 | 2.62 | 1.67 |
| | 10~30 | 3.02 | 1.88 |
| 壤 质 沙 土 | 0~10 | 2.51 | 1.45 |
| | 10~30 | 2.33 | 1.37 |
| | 30~80 | 1.20 | 0.71 |

注:K₁₀ 为气温在 10 时的渗透系数。

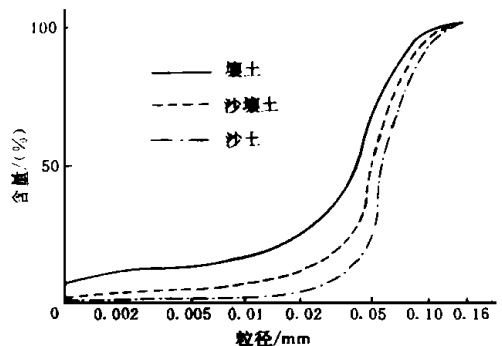


图 1 半湿润沙地不同土壤粒径累积曲线

~ 1.81, 平均为 1.00, 壤质沙土与沙质壤土均属于分选中等和差的土壤。再从偏度和峰态来看, 本区土壤全为正偏, 说明土壤颗粒均向粗颗粒的方向偏, 风沙土略正偏, 壤质沙土偏度较大, 沙质壤土偏度最大。也体现了沙质壤土和壤质沙土在长期的发育过程中极细沙(土)与微粒被风侵蚀, 使地表粗化。充分说明改良后的壤质沙土的土壤性质发生明显的变化, 逐渐由沙性向壤性土壤转化。

表 3 半湿润沙地不同土壤粒径及参数变化

| 剖面 深度/cm | 质地 分级 | 总量/% | | 沙粒/% | | | 粉粒/% | | 粒度参数及变化 | | | | | |
|-------------|-----------------------|-------------|---------|---------|--------|-------|--------|--------|---------|------|------|------|------|------|
| | | 沙粒 | 粉粒 | 粘粒 | 中 | 细 | 极细 | 粗 | 细 | 平均值 | 分选性 | 偏度 | 峰态 | |
| | | 2~ | 0.05~ | < | 0.5~ | 0.25~ | 0.1~ | 0.05~ | 0.02~ | φ | | | | |
| | | 0.05mm | 0.002mm | 0.002mm | 0.25mm | 0.1mm | 0.05mm | 0.02mm | 0.002mm | mm | | | | |
| 0~20 | 壤 质 极 细 土 | 78.83 | 1.91 | 3.26 | 0.0 | 17.31 | 82.69 | 12.23 | 4.68 | 4.38 | 1.04 | 0.35 | 1.74 | |
| 20~30 | | 76.10 | 19.39 | 4.51 | 0.0 | 16.9 | 59.24 | 15.02 | 4.37 | 4.66 | 1.29 | 0.37 | 2.74 | |
| 30~40 | | 87.41 | 9.97 | 12.59 | 0.0 | 15.94 | 71.47 | 8.05 | 1.92 | 4.01 | 0.63 | 0.24 | 1.06 | |
| 40~50 | | 87.24 | 9.83 | 2.93 | 0.0 | 17.97 | 69.27 | 7.37 | 2.46 | 4.14 | 0.81 | 0.27 | 1.79 | |
| 50~60 | | 85.32 | 12.22 | 2.46 | 0.0 | 20.49 | 64.83 | 10.11 | 2.11 | 3.99 | 0.67 | 0.16 | 1.22 | |
| 60~70 | | 85.81 | 11.75 | 2.44 | 0.0 | 15.88 | 69.93 | 9.49 | 2.26 | 4.02 | 0.63 | 0.21 | 1.39 | |
| 70~80 | | 82.29 | 15.59 | 2.02 | 0.0 | 11.96 | 70.33 | 13.53 | 2.16 | 4.08 | 0.67 | 0.14 | 1.72 | |
| 80~90 | | 88.95 | 9.70 | 1.35 | 0.0 | 12.3 | 76.65 | 7.96 | 1.74 | 3.96 | 0.53 | 0.12 | 0.98 | |
| 0~20 | 沙 质 壤 土 | 60.59 | 32.74 | 6.67 | 0.0 | 7.97 | 52.62 | 32.74 | 11.43 | 5.14 | 1.6 | 0.30 | 2.36 | |
| 20~30 | | 59.44 | 31.97 | 8.59 | 0.0 | 6.72 | 52.72 | 21.42 | 10.55 | 5.43 | 1.81 | 0.34 | 2.68 | |
| 30~50 | | 62.81 | 29.07 | 8.13 | 0.0 | 8.85 | 53.97 | 18.75 | 10.32 | 4.77 | 1.72 | 0.33 | 2.52 | |
| 50~70 | | 7.63 | 68.54 | 23.83 | 0.0 | 0.00 | 7.63 | 26.54 | 42.01 | 7.47 | 2.63 | 0.36 | 1.98 | |
| 70~90 | | 28.31 | 50.30 | 21.39 | 0.0 | 0.00 | 28.31 | 23.34 | 26.96 | 0.77 | 2.50 | 0.36 | 1.76 | |
| 90~110 | | 19.08 | 78.53 | 2.39 | 0.0 | 0.00 | 19.08 | 70.42 | 2.17 | 5.08 | 0.59 | 0.16 | 1.20 | |
| 0~10 | | 细 沙 土 | 96.79 | 1.29 | 1.92 | 0.0 | 43.92 | 52.87 | 1.07 | 0.22 | 3.40 | 0.51 | 0.01 | 1.17 |
| 10~30 | | | 94.52 | 3.56 | 1.92 | 0.0 | 22.69 | 71.83 | 3.56 | 0.46 | 3.74 | 0.58 | 0.03 | 1.01 |
| 30~50 | 94.86 | | 3.56 | 1.58 | 0.0 | 22.06 | 72.80 | 2.76 | 0.80 | 3.75 | 0.51 | 0.19 | 1.54 | |
| 50~70 | 95.22 | | 3.13 | 1.65 | 0.0 | 32.88 | 62.34 | 2.03 | 1.10 | 3.41 | 0.48 | 0.09 | 1.02 | |
| 70~90 | 93.28 | | 5.10 | 1.62 | 0.0 | 24.72 | 68.56 | 4.74 | 0.36 | 3.95 | 0.54 | 0.16 | 1.54 | |
| 90~110 | 90.86 | | 6.05 | 3.09 | 0.0 | 15.88 | 69.93 | 0.49 | 2.26 | 3.81 | 0.56 | 0.02 | 0.81 | |

注: 1. 粒度组成由中国科学院兰州冰川所分析室分析; 2. 壤质沙土为种植 5 a 后果树地; 3. 沙质壤土为高产丰产田的土壤; 4. 风沙土为流沙地; 5. φ为平均粒径负对数值。

早在 1908 年瑞典科学家阿贴尔别格 (Atlerberg) 已经指出, 沙地的水分物理性质好坏的界线在 0.002 粒级, 苏联 B. T. 特卡丘克 1937 年把小于 0.1 mm 粒级的沙粒看作是很清晰地划分沙地水分物理性质的界线。而本区沙壤土小于 0.002 mm 的含量为 11.8%, 壤质沙土 3.6%, 沙土 1.96%。土壤中小于 0.002 mm 的含量高低将体现土壤水分性状的差异上, 3 种土壤除沙质壤土的粒径组成变化较大外(见表 3), 沙土粒径组成主要在 0.05~2.0 mm, 大致占总粒径组成的 90% 以上; 壤质沙土粘粒含量较高, 最终可以改造成较适宜于植物正常生长和发育的沙壤土。

3 土壤风蚀的变化

对流沙地(风沙土)和改良沙质地(壤质沙土)的风蚀状况调查(见表 4), 并且把不同类型

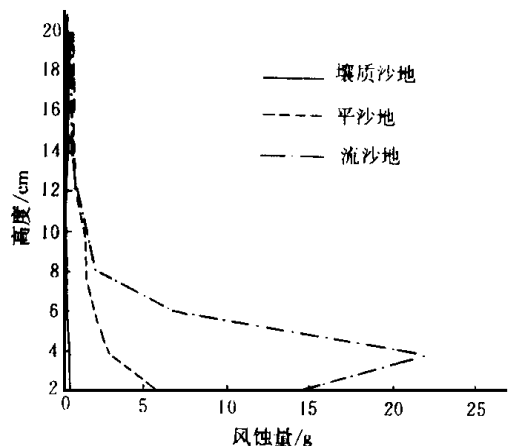


图 2 不同类型土地风蚀量随高度变化(19941030)

沙地测量数值换成同一风速下(8 m/s)所得的数值。从表 4 可看出改良地风蚀量是很小的, 0~2 cm 高度之间风蚀量壤质沙壤土比沙土小 10~20 倍, 总风蚀量壤质沙土比沙土小 7~22 倍。如图 2 是秋季改良后农田地无植被覆盖时调查的壤质沙土土地风蚀量, 是裸沙地(风沙土)风蚀量的 1/5。说明无植被时农田改良地风蚀量比沙土地仍小得多。体现了沙土经改良后, 颗粒之间胶结作用加强, 风蚀量大大减小, 固沙性能大大提高。

表 4 不同类型土壤风蚀量调查

g

| 距地面高度/cm | 0~2 | 2~4 | 4~6 | 6~8 | 8~10 | 10~12 | 12~14 | 14~16 | 16~18 | 18~20 |
|-----------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 风沙土(流沙地) | 14.10 | 21.96 | 6.91 | 2.06 | 1.48 | 0.808 | 0.713 | 0.493 | 0.446 | 0.340 |
| 壤质沙土(农田) | 0.48 | 0.44 | 0.24 | 0.18 | 0.19 | 0.098 | 0.124 | 0.154 | 0.133 | 0.212 |
| 壤质沙土(细沙土) | 3.02 | 2.64 | 1.39 | 0.68 | 0.45 | 0.350 | 0.270 | 0.230 | 0.202 | 0.200 |
| 风沙土(平沙地) | 5.78 | 2.85 | 1.98 | 1.50 | 1.43 | 0.750 | 0.581 | 0.413 | 0.436 | 0.210 |

注: 1995 年 4 月 22 日观察的数值。

4 土壤化学性质变化

土壤 pH 值是土壤化学物质的重要指标, 该区在整治前土壤 pH 值变化在 8.87~8.5 之间, 平均 pH 为 8.6, 整治后 pH 值 8.3~8.6 之间, 平均 pH 为 8.42, pH 值降了 0.23。改良农田地剖面上 pH 变化在 8.30~8.50 之间, 其平均 pH 为 8.45, 果树地为 8.30~8.42, 平均 pH 为 8.36。均比未治理前流沙地降低 0.2~0.4。即该区土壤 pH 值由于改良而降低(除一些地下水水位较高地区), 而果树改良地降低幅度更大。

半湿润沙地未治理前土壤含盐量在 0.069%~0.063%。改良后通过在流沙地上种植果树和农作物, 沙丘间地建防沙林带, 并定期对土壤进行施肥和灌溉等措施, 土壤的总含盐量变为 0.40%~0.13%。但仍属于轻盐化或非盐化土。

土壤养分与耕作时间有关, 作者分别于 1994 年秋对流动沙丘地、改良农田地、果树改良地 0~60 cm 土层的养分进行采样并分析(见表 5), 可以看出, 随着改良时间加长, 土壤中养分的含量均有明显增加。如改良农田地有机质、速效磷、速效氮、全氮、全磷、全钾分别为流沙地的 1.57, 1.5, 1.3, 1.56, 1.3, 2.0 倍。改良果树地的有机质、速效磷、速效氮、全氮、全磷、全钾是流沙地的 1.4, 3.0, 1.9, 1.6, 1.4, 2.2 倍。说明人工整治流沙地后养分均在增加, 对固定流沙和荒地开发起了积极的作用。

表 5 风沙土开发利用前后土壤肥力变化

g/kg

| 类别 | 剖面深/cm | 有机质 | N | P ₂ O ₃ | K ₂ O | 水解氮 | 速效磷/ (mg·kg ⁻¹) | pH | 含盐量/% |
|-------|--------|------|------|-------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|------|-------|
| | | | | | | | | | |
| 流沙地 | 0~30 | 1.81 | 0.15 | 0.66 | 2.03 | 17.85 | 7.0 | 8.5 | 0.063 |
| | 30~60 | 2.23 | 0.12 | 0.73 | 1.19 | 13.68 | 2.6 | 8.87 | 0.069 |
| 改良农田地 | 0~30 | 3.98 | 0.21 | 0.91 | 2.85 | 17.85 | 9.0 | 8.30 | 0.412 |
| | 30~60 | 2.38 | 0.21 | 0.89 | 3.51 | 23.80 | 5.4 | 0.50 | 0.104 |
| 改良果树地 | 0~30 | 2.5 | 0.16 | 0.92 | 3.53 | 28.56 | 11.4 | 8.42 | 0.13 |
| | 30~60 | 3.18 | 0.28 | 1.08 | 3.70 | 31.54 | 17.4 | 8.30 | 0.11 |

5 土壤水分动态变化^[3]

风沙土(裸沙丘)地上稀疏地散布着禾草和小灌丛, 从整个水分剖面上分析, 全年含水量变

化在4%~12%。春季沙地水分较少,表层出现5~8 cm的干沙层,10 cm以下的水分全年变化较小,水分等值线分布稀疏,并在整个剖面上出现几个含水量值为10%的闭合区。无论降水量大小土层含水量均不超过12%以上,说明沙地保水性差和渗透快。深层含水量最大不超过14%,但对降水反应较快,本地区只要有大于10 mm的降水,表层土壤水分含量立即就会增大。当无雨日增多,水分含量骤减。经过4~5 d无雨日,表层含水量下降3%~4%。5月份每次大降水均相应地使表层土壤水分含量大为提高,使原来含水量为4.39%提高到10.0%。6月11日的暴雨量为50.2 mm,6月16日观测土壤水分时发现表层水分只有4%~6%,并在表面上出现薄干沙层,沙丘未见有地表径流现象,而深层从40~260 cm水分含量分别提高3%~5%。说明从11日降水到16日,5 d之内沙面降水量多已下渗入深层土壤,深层土壤同样受到降水的影响。10~11月份降水少或无大降水,深层土壤水通过各种调整,稳定在4%~10%的含水量范围,表层沙土逐渐变干。

流沙地不同季节内水分变化较一致,同季内不同日期测定含水量的垂直走向一致。春季地表明显出现整个剖面含水量较少,比夏季少6%~8%,比秋季小3%~4%;并且剖面上、下水分含量变化不大,但不同时间测定土壤含水量差别明显,垂直含水量分布线相隔较远,说明降水对沙土地的土壤含水量影响较大。秋季出现上大下小的土壤含水分布趋势,证明表层补给量大于耗水量。改良沙质地土壤水分全剖面特征变化与沙丘地水分差异很大^[4],0~100 cm之间水分变化在6%~34%之间,整个剖面出现除个别日期含量变化较大外,在40~100 cm之间水分含量变化较平衡,保持在14%~34%之间,对降水反应比沙土慢。改良地水分活跃层为80 cm,由于根系生长的作用,活跃层最大可能伸延100 cm,降水量最大的6~7月份影响深度可达120 cm,而0~30 cm土壤层不象沙土层,土壤水分含量降低很快,而是长期保持在较高的含水量范围内。只有无雨日较长(10 d以上),表层水量才开始降低,如从6月到7月底连续降雨,使表层3~30 cm土壤水分保持在10%~20%;而7月至8月下旬尽管降水减小,但土壤水分仍保持在8%~10%之间。说明壤质沙土受毛管水影响,不易变干。研究改良地土壤水分垂直剖面变化发现0~30 cm土层水量主要与降水有关,40~80 cm土层水量受地下水位和降水二者影响而变化,40~100 cm土层含水量变化比降水滞后一段时间;100 cm以下含水量稳定在40%~48%之间,达到饱和含水量。说明100 cm以下完全处于地下水位以下,而40~70 cm之间由于毛管水上升力的作用,土壤含水量保持在最大持水量以上。6~8月土壤水分损失较多,恰与葡萄生长期相应。经调查该区葡萄植株与潜水联系是靠苗根扎入毛管边沿吸取水分,每丛葡萄有2~3根主根,可以分叉,根冠2~1.5 cm,直径达1~2 mm,分叉根系强烈吸取土壤水,每一叉根,大约一昼夜吸水量达2 mL。所以6~8月土壤水分的损失与葡萄生长消耗水分有关。

改良葡萄地表层全年0~40 cm土层水量变化在5%~15%之间,40~100 mm之间土壤含水量急剧变化,由40 cm处的10.0%~15.0%增加到100 cm的32.0%,再往深层土壤含水量与100 cm处类似。春天含水量明显比初秋表层大;夏天降水补给时,地表0~80 cm垂直含水量变化大致与降水相呼应,呈现与风沙地水分变化的差异性。

6 结 论

(1) 改良后的土壤中颗粒小于0.002 mm平均含量比沙土增加了1.83倍,土壤性质发生逆转;小于0.005 mm范围颗粒组成达13%以上,比沙土增加9倍。(2) 经改良后土壤中的平

均粒径变小,由沙土变成壤质沙土,分选性变差。(3) 经改良后的土壤抗风蚀颗粒增加了 6~10 倍,使沙土的流动性大大减小,有利于固沙。(4) 逆转后的土壤水分物理常数发生变化,田间持水量、最大分子持水量、毛管上升高度、孔隙度均比沙土大 1~1.5 倍,而恒定渗透率则比沙土减小 0.452 倍,明显具有保水特性。(5) 逆转后的土壤水分变化明显,壤质沙土剖面含水量比沙土增加了 50%~70%,并且 40 cm 以下土壤水分含量保持在 10% 以上,可满足植物生长的需要,适应旱季农业生产。总之,半湿润风沙地经多年改良后,土壤特性发生了较大的变化,这证明半湿润沙地经人为合理改良后,会迅速逆转,从而为黄淮海平原风沙化土地的治理提供了实践基础。

参 考 文 献

- 1 程维新主编. 河间浅平洼地综合治理配套技术研究. 北京: 科学出版社, 1993. 156- 159
- 2 中国科学院南京土壤研究所. 土壤物理化学分析. 上海: 上海科技出版社, 1989. 1- 7
- 3 冯起. 半湿润地区沙地水分状况与水分状态的规律的研究. 干旱地区农业技术研究, 1995, 13(1): 25- 30
- 4 冯起. 禹城沙地水分动态及其影响因子. 中国沙漠, 1995, 15(2): 37- 39