

# 中国东北沙地埋藏土壤的成因和环境 指示意义\*

任国玉

(国家气候中心, 北京 100081)

**提 要** 本文对我国东北沙地沙丘埋藏土壤的形成原因重新进行了探讨, 新的观察和证据表明, 中晚全新世沙丘埋藏土壤的形成主要是过去人类活动等非气候因子导致附近沙丘活化或沙漠化所引起的, 气候变化所起的作用可能比原来认为的小得多; 中晚全新世的埋藏土壤及其风沙层序列因而不能被用来指示过去气候变化, 但可以被用来重建过去人类活动与沙地环境相互作用历史。

**关键词** 沙丘埋藏土壤 古气候 人类活动 中国东北

## 1 前 言

中国北方半干燥地带沙地埋藏土壤层的研究受到古环境学者的广泛注意。这个问题之所以受到重视, 是因为沙丘中的埋藏土壤被看成是相对湿润条件下形成的, 而其间的沙层则为相对干燥时期的产物, 因此沙丘中的埋藏土壤层可能具有古气候指示意义<sup>(1,4,5,6,8,9,10,12,13,17,18)</sup>。但是, 在我国北方各主要沙地内, 沙丘中埋藏土壤与风成沙互层现象的形成是比较复杂的。有多种因素可以造成这种互层现象。拟以东北地区沙地为例, 对此做一初步讨论, 意在引起古环境和古气候界同行对这个问题复杂性的进一步重视。

## 2 埋藏土壤形成的非气候因子

沙丘埋藏土壤和风成沙互层现象实质上是过去沙丘稳定阶段与沙丘活化阶段交互作用的产物。沙丘稳定阶段在原来的草甸或沙丘上形成土壤; 在接下来的沙丘活化阶段, 这样生成的土壤被上风方向吹来的沙掩覆; 以后当沙丘再趋于稳固时, 埋藏了原有土壤的上覆沙层表面又将经历成壤作用, 形成新的土壤。对于沙丘的稳定和活化来说, 气候变化无疑起到重要作用。在气候湿润时期, 沙丘有利于稳定; 而在干旱年份, 沙丘活化更可能发生。在干燥度不变的情况下, 春季大风季节盛行风风速减弱有利于沙丘稳定, 风速增强则有利于沙丘活化。但是, 气候绝不是沙丘状态变化的唯一因子。在气候稳定的情况下, 沙丘的状态可以由于各种非气候因子作用而出现改变。

在构造作用和风水侵蚀作用下, 河流改道使湖水外泄, 可以暴露出大片新的干河床和湖床。河床和湖相沉积物质被风吹扬可以在下风方向草甸或沙丘表层土壤之上沉积一层细

\* 本文的野外考察工作曾得到肖平、孙贵、白布和、李刚、孟令召、曹世勇等支持和帮助, 在此深表谢意!  
收稿日期: 96-10-09

沙。以后,风沙源区地表趋向稳定,使草甸或沙丘上新堆积的风沙层在与原来相同的气候条件下开始了土壤发育过程。再比如,沙地中的植被可以由于诸如火灾或草原啮齿类动物的掘穴活动等非气候因子影响而受到破坏,遭破坏的沙丘部位在冬春大风季节很快被吹开,并迅速扩大成新的风蚀谷穴,搬运走的细沙则在下风方向已固定并有表层土壤发育的沙丘上堆积下来。诸如此类的沙丘系统振动同样可以在气候保持不变的条件下自行趋于稳定,风蚀和堆积地段重新生长植物,发育土壤。

最主要的问题来自人类活动的干扰。人类活动对沙丘活化的影响主要也是通过破坏植被实现的,而破坏植被的动机和方式则是多种多样的。植被一旦遭到毁坏,沙丘系统其后的演化过程就和前述情形相似,出现新的风蚀区和堆积区。在堆积区,从前的沙丘表层土壤可以是未经受吹蚀的,从而引起原来土壤为风沙物质埋藏。随着人类活动干扰的减弱,沙丘系统仍可以恢复到稳定的平衡状态,植被再次生长,土壤重新发育。以后,如果人类活动的压力再增强,这个过程就又开始。在晚全新世时期,人类活动对沙地沙丘系统的影响愈来愈明显,并且逐渐成为沙丘稳定和活化两种状态相互转化的控制因子。人类扰动和其它非气候因子扰动具有一个明显的共同特征,这就是局地性。有人类、有鼠害或者新湖滩暴露的地方才可能出现沙丘活化,没有的地方沙丘可以保持稳定。因此,和具有广域性影响的气候因子不同,人类等非气候因子引起的埋藏土壤及其间的风沙层在同一块沙地内不能进行对比。当然,人类活动影响与其它非气候因子还有不同,这种差异也可以在沙丘剖面上留下痕迹。例如,和非气候自然扰动不同,人类活动对沙丘系统扰动的强度和频度一般是随时间增大的。其结果是导致埋藏土壤层由下向上变薄,发育的成熟程度减弱。相邻两次沙丘活化事件或土壤埋藏事件发生的时间间隔在不断减小,其间的古土壤发育时间长度也在逐渐缩短。下部埋藏土壤的形成可能需要千年以上时间,而后来的埋藏发育时间可能只有几百年甚至几十年。因此,在这种受到人类活动干扰的沙丘系统内,埋藏土层数和厚度,每一层发育的时间和程度等就可能存在着随时间变化的倾向性。

因此,影响沙丘状态变化、因而也是影响埋藏土壤与风沙互层现象的因素是多种多样的,气候只是其中之一,并且它可能主要作为一种背景条件发生作用。大部分土壤被埋藏过程都是由非气候因子的突发性扰动引起的。在多数情况下,这种突发性扰动事件持续的时间与发育土壤所要求的时间并不处于同一数量级,前者比后者短得多。

### 3 沙丘埋藏土壤层的对比问题

如果沙丘埋藏土壤是由宏观气候环境变化造成的,那么至少在同一块沙地内不同沙丘中的埋藏土壤是可以进行时代对比的。但是到目前为止,在这方面做的尝试均不成功。不能把这种非可比性归结于 $^{14}\text{C}$ 定年的不确定性。它实际上是暗示,沙丘中这些土壤的被埋藏不大可能与气候变化有关。

在科尔沁沙地内,沙丘埋藏土壤的层数绝不是简单的3层。在科左后旗的大青沟——伊合窑附近,2~3层埋藏土壤比较多见,往西到奈曼旗很少见到3层埋藏土壤,而往东至铁牛——散都附近,则可以看到5~8层甚至更多的埋藏土壤与风成沙互层现象。在散都水库也可以找到3层埋藏土壤, $^{14}\text{C}$ 测年分别是 $2380 \pm 70$ ,  $1165 \pm 65$ 和0a BP。董光荣在散都以西仅60km的伊合窑测定了3层埋藏土壤的年代,但分别为 $1655 \pm 120$ ,  $603 \pm 60$ ,  $495 \pm 95\text{a BP}$ <sup>[11]</sup>。可见,相距不远的3层埋藏土壤在形成时代上存在着重要差别。

如果把科左后旗东南部沙丘埋藏土壤已有的<sup>14</sup>C 测年结果列出来 (图 1), 它们之间年代的非同时性特征就更清楚了。

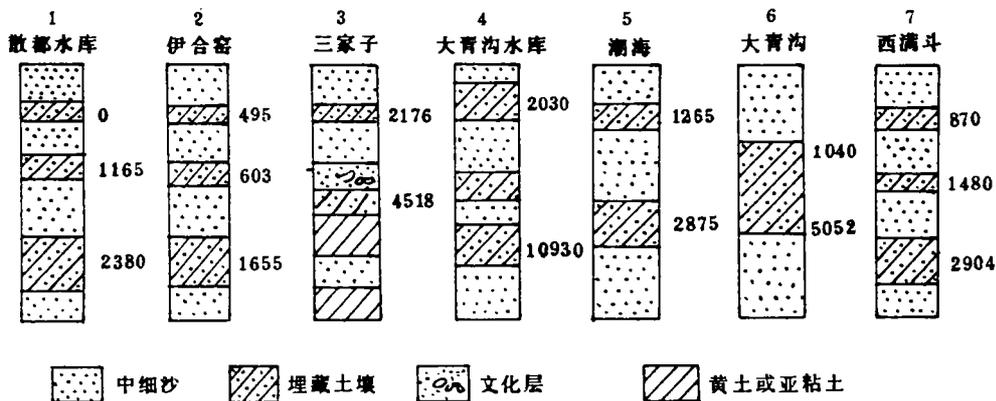


图 1 科尔沁沙地东南部沙丘埋藏土壤<sup>14</sup>C 年代示意图

Fig.1 <sup>14</sup>C age of buried soil under sand dunes at the southeastern part of Kerxin sand lands

资料来源: 1 任国玉(本文); 2和6 董光荣(1990); 3和4 兰大地理系<sup>14</sup>C室(1987); 5 裘善文(1989); 7 陈振英(1991)

同一片沙地沙丘埋藏土壤层数上和年代上的显著差别排除了土壤埋藏过程由统一外部强迫因子控制的可能, 表明中晚全新世沙丘的固定与活化是受到因地而异的局地扰动因子影响的。人类在沙地上的定居及其由此产生的植被的破坏就是一种主要的局地扰动因子。在科尔沁沙地埋藏土壤层顶面经常可以见到不同时期的人类文化遗物, 这大部分是原来的草甸土为附近活化沙丘的迁移或风沙流所掩盖造成的, 说明沙丘的活化可能与人类的居住存在着联系。与此相关的一个问题就是沙丘埋藏土壤厚度或代表时间长度的变化。在科左后旗东南部边缘地带, 沙丘埋藏土壤层一般表现为最下一层较厚, 可以达到 50~200cm, 向上则愈来愈薄, 只有几十厘米或几厘米。不同埋藏土壤层中的有机质含量由下向上逐渐减少, 颜色从下往上越来越浅淡, 粘粒含量越来越低。如果认为埋藏土壤层厚度和有机质、粘粒含量是土壤发育时间的函数, 那么上述变化表明, 埋藏土壤的发育时间在底部较长, 向上则越来越短。底部土壤发育时间可以达到 1000~3000 年, 而中上部可能仅有几百年甚至几十年。显然, 这种情况说明, 沙丘活化次数随着时间推移而变得更为频繁, 原来在 1000~3000 年内也不会有沙丘活化事件, 后来在几百年甚至几十年里就可以发生一次, 并导致了土壤的埋藏。

如果气候变异是引起沙丘活化的外部扰动因子, 埋藏土壤垂向变化的上述特征要求强烈干旱事件或大风事件发生的频率必须是随时间增加的, 在开始的 1000~300 年内不出现这种极端气候事件, 而在后来则每几百年或几十年就发生一次。这涉及到气候变率的变化问题。迄今为止, 没有任何可靠证据表明中晚全新世的气候变率发生过如此显著的改变。某些根据历史记载分析得出的有关干旱频率或洪水频率随时间增加的结论一部分是对历史资料错误使用造成的, 另一些则反映了植被遭到破坏后的必然结果, 均不指示宏观气候变率出现了变化。因此, 把沙丘埋藏土壤的形成主要归因于气候变化的证据是不充分的。人类活动对沙丘植被扰动的频度和强度才是随时间增加的, 因而最可能是造成上述沙丘剖面特征的主要原因。

### 4 沙丘埋藏土壤的年代问题

对沙丘埋藏气候成因说的认同使得研究人员开始采集和统计<sup>14</sup>C 测年数据。顺便指出，在采用这种方法进行分析时，必须遵循统计上时间组距同一的基本原则，否则计算结果不能说明任何问题。作者也曾对东北四块沙地埋藏土壤的<sup>14</sup>C 年代数据做过统计。统计的时间组距规定为 1000 年。图 2 表示各区和东北全体的计算结果。

东北全境沙丘埋藏土壤<sup>14</sup>C 年代数据集中分布于 5ka BP 以后，而在早中全新世则很少。5ka BP 以后的年代数据占全部数据的 79%，5~10ka BP 仅占 17%，其余 4% 出现在 10~11ka BP。<sup>14</sup>C 年代数据频率从 6.5ka BP~1.5ka BP 大体呈逐渐增高趋势，1.5ka BP 以后频率急剧减低。对这个结果的分析必须小心，因为在年代测定过程中已经混入了明显的人为采样策略因素的影响。

研究人员在采集埋藏土壤<sup>14</sup>C 年代样品时一般并不区分其层位的厚薄和发育时间的长短。比如，底部的埋藏土壤层很厚，但也不会按等厚度或等时间距去采集很多样品；而上部的埋藏土壤层尽管很薄，却也不会不测试一块样品。这样就会造成在需用 2000~3000 年时间形成的底部厚层埋藏土壤中仅有一个<sup>14</sup>C 年代数据，而在总共只要 1000 年时间发育的两层晚期埋藏土壤内有 2 个<sup>14</sup>C 年代数据的情形。另外，最近一个时间组距内的<sup>14</sup>C 年代数据频率又必然偏低，因为沙丘表层土壤一般都被视为现代土壤，极少还有人去采样测年。

由于这种人为采样策略的影响，<sup>14</sup>C 年代数据频率在一定程度上是反映埋藏土壤层数的随时间变化；因为埋藏土壤层数相当于过去埋藏事件发生的次数，而埋藏事件发生的次数也就是沙丘活化事件次数，所以<sup>14</sup>C 年代数据频率间接地指示了过去那些造成沙丘活化的环境扰动事件频率的变化。持续数年的干旱固然可以成为这种扰动事件，但这种干旱事件在空间上往往具有很好的连续性，由此造成的沙丘活化事件在同一块沙地内应该具有可比性。正如前面所述，现在还没有发现可靠的地点之间的年代对比关系。在另一方面，6.5ka BP 以来<sup>14</sup>C 年代数据频率不断上升，这和人类扰动频度与强度不断增加的规律是一致的。1.5ka BP 以后年代数据频率降低直接反映了研究人员采样策略的影响。

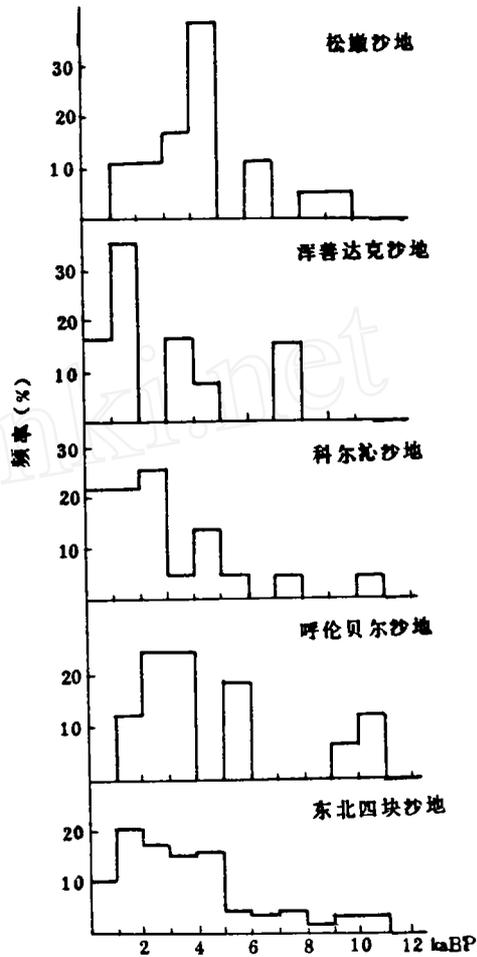


图 2 东北沙地埋藏土壤<sup>14</sup>C 年龄数据频率  
Fig.2 Frequency of <sup>14</sup>C age of buried soil under sand dunes on the sand lands in northeast China

因此,埋藏土壤 $^{14}\text{C}$ 年代数据统计结果也支持人类活动起主要作用的意见。当然,气候的长期变化作为一种背景条件也不应忽视。在沙地这样特定的环境中,当气候偏向湿润时才能在足够长的时间内始终具备发育土壤的条件,人类活动也才可以这个背景下通过破坏植被产生扰动和沙丘活化,并且沙丘活化后还可以重新趋向稳定。中全新世以来埋藏土壤 $^{14}\text{C}$ 年代数据频率增高也有助于说明气候是相对湿润的或气候在趋向湿润。

## 5 埋藏土壤形成的基本机理

在东北各沙地气候相对湿润的东部,人口的压力比较大,对植被的干扰也比较强。每当植被受到严重破坏时,局部已固定沙丘将在冬春季强风吹蚀下发生活化,流沙埋藏邻近的下风方向沙丘表层土壤,造成一次埋藏事件和一层风沙层。后来,随着人类活动压力的减轻(可能主要通过迁移方式实现),由于气候条件比较湿润,沙丘系统可以较快地恢复到新的稳定平衡状态,植被再生长起来,土壤在新的风沙层之上开始发育。土壤有机质来自处于各种演替阶段的植物群落,而土壤粘粒和矿物质则主要经过风尘沉降过程不断得到积累。粉尘的累积只能在具有一定植被覆盖的条件下才能实现。在流动沙丘上也有粉尘降落,但不会有累积,因为大风很快就把降下的细物质重新吹走。有植被覆盖的沙丘和丘间湿地、湖泡是沙地内大气粉尘主要的汇聚场所。当环境条件改善以后,又会吸引人们前去从事农业或采集业活动,上述过程重新开始,可能在已经固定和发育了土壤的沙丘表覆盖上新的风沙层,而在邻近的另一个沙丘上这次则可能未覆沙。未覆沙的沙丘土壤发育不发生中断,而又盖上沙的沙丘土壤发育出现暂时中止,但后来可以在新沙层上再次开始发育。这样就造成相邻的两个沙丘内埋藏土壤层数和厚度都不一致的局面。由于这几片沙丘周围地带人口越来越多,人类活动对它们的干扰也会越来越频繁。到后来,往往是植被刚刚恢复,土壤刚刚开始发育,就又遭到流沙压埋,从而产生若干无法与环境条件达到平衡的薄层“夭折”埋藏土壤,致使沙丘垂向剖面上出现埋藏土壤由下而上依次变薄、变浅和质地变粗的现象。

在各沙地比较干燥的地段,情况可能有些不同。这里对人类活动干扰的反应更为敏感,植被一旦遭到破坏,沙丘很快会在较大范围内活化。由于较少保留有固定或半固定沙丘,原来已发育的土壤层在沙丘流动起来以后将荡然无存,其中的细物质会成为沙地大气中粉尘的一个重要来源。偶尔免遭破坏的固定或半固定沙丘表层土壤有一部分也可以为流沙掩埋,形成埋藏土壤及其上的风沙层。但是,相对干燥的气候使流动沙丘不容易恢复到稳定状态,因为出现比较湿润并使植被茂密生长的几个连续年份的机率比较小。人类强度活动造成的扰动由此就可能变为持久或相对长时间的。因此,在沙地的这样部位,见到多层埋藏土壤很不容易,见到沙丘剖面由下而上呈依次减薄的埋藏土壤系列也比较困难。

现代沙地沙漠化调查支持上述埋藏土壤形成模式。在科尔沁沙地,现代沙漠化过程主要是在人为活动破坏沙丘植被后发展起来的<sup>(2,3,14,15,16)</sup>。在科左后旗和库伦旗,流动沙丘和半流动沙丘多围绕着居民点分布,半固定和固定沙丘一般出现在远离居民点地区。流动沙丘和固定、半固定沙丘往往相互毗邻,同时出现。固定和半固定沙丘表层土壤为流沙掩埋现象十分普遍。这种掩埋有时可以发生在一次强风暴之后。因此,认为沙丘剖面上风沙层与其间的埋藏土壤层具有同等量级发育时间是不对的。有一些最上部埋藏只是现代才形成的。散都水库附近沙丘上层埋藏土壤 $^{14}\text{C}$ 年代为 0,说明了这个问题。在科左后旗合作

五家子村东北,丘间洼地的现代草甸土正在为高10多米的流动沙丘所掩埋。这种土壤显然正在变成埋藏土壤,但不能把它们称为古土壤。

## 6 结 论

沙丘埋藏土壤实质上是原来正在发育的土壤被流沙掩覆的产物。流沙的出现起因于附近一个或数个沙丘的活化。沙丘活化可以由气候的和非气候的多种突发性扰动过程引起,但非气候的人类活动影响是最重要的因子。不论是沙丘埋藏土壤层的时空分布特征,还是目前正在发生的沙漠化和现代土壤掩埋过程,均表明它们的产生主要同人类对沙丘植被的破坏有直接关系。如果没有人类活动扰动的影响,东北各沙地自中全新世开始的沙丘土壤发育过程基本上应该连续进行的,较少为其它扰动因子打断并形成埋藏土壤。因此,埋藏土壤层及其间的风沙层难以用来指示过去气候变化。

埋藏土壤层及其间的风沙层是由性质截然不同的环境过程塑造的。前者是在气候长时间相对稳定、或者长期趋向于变湿或微弱变干的情形下发展起来的,而后者则是在低一到两个数量级时间尺度上的突发性扰动引起的。从百年至千年时间尺度上看,被一个风沙层所隔开的两个埋藏土壤层不存在明显时代差别,它们实际上是一种气候体系下的同一个环境生成体,只不过在其发育过程中被一次瞬时灾变所中止而已。埋藏土壤层之间的风沙层就是这种灾变的历史记录。埋藏土壤层及其间的风沙层不是同一时间尺度上的地质形成体,当然更不是时间长度相当的湿润期和干燥期交替作用的产物。

但是,沙丘埋藏土壤层及其间的风沙层确是研究过去沙地内人与环境相互作用历史的良好代用记录。在东北各主要沙地的偏东部,晚全新世人类活动对局部沙丘系统的扰动越来越频繁和强烈,主要表现为沙丘埋藏土壤层自下而上趋向减薄,发育成熟度降低。这也表明,各沙地的沙漠化现象不是现代社会所特有的,它在2000~3000年以前就已经出现了。但过去的沙漠化是更局部性现象,而今天则变得更加普遍了。

## 参 考 文 献

- (1) 史培军.地理环境演变研究的理论与实践.北京:科学出版社,1991.
- (2) 朱震达,王涛.中国沙漠化研究的理论与实践.北京:第四纪研究,1992,(2),97-106.
- (3) 朱震达等.中国的沙漠化及其治理.北京:科学出版社.
- (4) 李取生.东北泥碳和沙地古土壤发育的对比与全新世干燥度变化,科学通报,1993,38(12):1109-1111.
- (5) 杨根生等.有关沙漠化几个问题的探讨,干旱区研究,1986,(4),73-78.
- (6) 吴正.风沙地貌学.北京:科学出版社,1987.
- (7) 陈永宗.呼伦贝尔高平原地区风沙地貌初步研究.北京:科学出版社,1981.
- (8) 胡孟春.全新世科尔沁沙地环境演变的初步研究,干旱区资源与环境,1989,3(30):51.
- (9) 徐叔鹰.青海共和盆地的风沙堆积.中国沙漠,1983,2(3),1-8.
- (10) 高尚玉等.全新世中国季风区西北缘沙漠演化初步研究.中国科学1993,(B),23(2).
- (11) 董光荣.晚更新世以来我国北方沙漠地区的气候变化.第四纪研究,1990,3.

- (12) 董光荣等.鄂尔多斯高原的第Ⅲ纪古风成沙.地理学报,1983,38(4).
- (13) 董光荣等.气候变化与沙漠化关系的研究.干旱区资源与环境,1988,2(1):31-45.
- (14) 董玉祥.人文因子在荒漠化中的作用.中国沙漠,1992,12(1):16-26.
- (15) 董玉祥,刘毅华.内蒙古浑善达克沙地近五千年内沙漠化过程的研究.干旱区地理,1993,16(2):45-51.
- (16) 韩广.科尔沁草原沙漠化及其逆转机理.兰州沙漠研究所博士学位论文,1992.
- (17) 裘善文.试论科尔沁沙地的形成与演变.地理科学,1989,9(4):317-327.
- (18) 裘善文等.东北平原西部沙地古土壤与全新世环境变迁,第四纪研究,1992,(3).

## FORMATION AND ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE OF THE BURIED SOIL UNDER SAND DUNES ON THE MAJOR SAND LANDS IN NORTHEAST CHINA

Ren GuoYu

(National Climate Centre, Beijing, China)

### Abstract

It has been long held that the buried soil under sand dunes on the major sand lands in northern China formed due to the climatic changes of the Holocene, which could be used as a proxy record to reconstruct the past climate in warm-humid periods. In this paper, an alternative is put forward to explain the new observation obtained from the sand lands of Northeast China, and the past human activities are suggested as the dominating factor for the formation of the buried soil layers in the sand dunes. This explanation is supported by the facts that the formation ages of the buried soil layers in the same sand land are not simultaneous, the mature degree and thickness for the buried soil layers in the same sand dune decrease from bottom up to top, and the burying process of the modern soil on sand dunes and on inter-dune lowlands is being under way owing to the human induced desertification in present. These facts are very difficult to be explained by change in wetness or in precipitation. It is more possible that the settlement of population in the sand lands in the past led to the mobilization of the sand dunes, and the human-induced desertification caused the soil to be buried by the drifting sand, forming the buried soil layers under sand layers. In spite of this, a stable climate with wetter condition may be helpful for the recovery of the vegetation and soil after the sand layers above the buried soil is deposited, and may thus be important for the formation of the alternative soil and sand layers in the late Holocene period. In most cases, therefore, the "dead soil" could not be called paleosoil, and it could hardly be used to indicate the past climate changes either.

**Key words:** buried soil under sand dunes; paleoclimate; human activity;  
northeast China