

沙坡头苔藓生物结皮层土壤特性演变研究

闫德仁, 张胜男, 闫 婷

(内蒙古林业科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘 要: 苔藓结皮是沙漠生物结皮发育成熟类型, 对改善风沙区生态环境状况、促进风沙土发育等具有良好效果。采集了不同时间固沙植被下的苔藓结皮层样品, 采用常规方法和电感耦合等离子体发射光谱仪 (PE ICP-OES) 分析测定了苔藓结皮层颗粒组成、腐殖质特征和全量化学元素含量变化。结果表明, 苔藓结皮层颗粒物粒径集中分布在 350 ~ 400 μm 范围, 并且随着固沙植被时间的增加, 苔藓结皮层 <10 μm 粒径的颗粒物含量呈现增加趋势。随着固沙植被时间增加, 苔藓结皮层有机质含量从 8.61 g/kg 增加到 11.95 g/kg, 腐殖酸从 2.10 g/kg 增加到 2.20 g/kg, 胡敏酸含量从 0.40 g/kg 增加到 0.90 g/kg, 并且胡敏酸的光学特性 E_4 、 E_6 吸光值增加, 而 E_4/E_6 值在减少。苔藓结皮层全量化学元素组成 (SiO_2 除外) 含量均高于流动沙土; 随着固沙植被时间增加, 苔藓结皮层 SiO_2 含量呈现出明显降低的趋势, 其它全量化学元素含量均呈现增加趋势。苔藓结皮层硅铁铝率低于对照流动沙土, 且随着固沙植被时间的增加, 苔藓结皮层硅铁铝率均呈现降低趋势。风沙环境下苔藓结皮层的形成和长期保留, 能够提高细颗粒物含量, 改善腐殖质特征, 提高矿物质元素含量, 对促进风沙土形成演变具有积极作用。

关键词: 苔藓结皮层; 沙坡头地区; 腐殖质; 全量化学元素; 硅铁铝率; 土壤特性

沙漠生物土壤结皮 (biological soil crusts, BSC), 特别是沙漠苔藓结皮层不仅对改善风沙地区的生态环境状况具有良好效果, 而且通过向氮素缺乏的沙漠生态系统中输入氮和有机碳, 对改善风沙土理化性质具有特别重要的现实意义。诸多研究表明^[1], 生物土壤结皮通过表层能量、物质交换作用, 养分富集, 促进风沙土发育, 而固定风沙土上生长的维管植物通过控制风沙危害, 降低地表风速, 能够拦截沉积足够的粘粒和粉粒, 为苔藓结皮层发育提供了良好物质条件, 进一步形成完整的苔藓结皮层并覆盖在风沙土表面, 对风沙土演变发育具有积极的促进作用^[2]。目前, 国内诸多研究^[3]表明, 沙漠地区苔藓结皮层能够在土壤表层富集养分, 并通过沉积粘粒和粉粒改善风沙土物理性质^[4-6]。此外, 闫德仁^[7]研究了鄂尔多斯高原区沙漠生物结皮的“肥岛效应”, 表明苔藓结皮层具有明显的养分表聚特征。杨元明等^[8]研究了古尔班通古特沙漠生物结皮层有机质含量的变化特征, 表明 0 ~ 5 cm 土层是土壤有机质的主要分布

层, 而生物结皮对 0 ~ 5 cm 土层有机质含量的影响最为强烈。同样, 单飞彪^[9]认为, 生物结皮层仅影响风沙土 0 ~ 5 cm 养分含量的变化, 而对 5 cm 以下甚至更深层次土壤养分含量的影响不明显。崔燕等^[10]研究表明, 生物土壤结皮层的养分富集作用显著, 而在流沙环境下, 一旦形成了生物土壤结皮层其颗粒组成含量的变化非常明显, 并且粗砂粒 (0.25 ~ 0.05 mm 粒径级) 含量显著减少。张军红等^[11]研究表明, 生物土壤结皮层在增加表层有机质、全氮及细颗粒物含量方面具有显著作用。郭铁瑞等^[6]认为生物土壤结皮层能够明显增加土壤中粘粉粒和极细砂的含量, 并在 0 ~ 5 cm 土层富集有机质、氮、磷等养分。本文研究了腾格里沙漠中国科学院沙坡头沙漠试验站不同年龄固沙植被下苔藓结皮层颗粒物组成、腐殖质以及矿物质元素含量变化特征, 对评价沙漠生物结皮及其和流动风沙土发育的关系具有指导作用。

1 研究区概况

研究区位于腾格里沙漠中国科学院沙坡头沙漠试验站, 干燥度 2.5, 地带性土壤为棕钙土。年平均降水 186.4 mm, 年平均气温 9.6℃, 年平均蒸发量 2 880.5 mm, 无霜期 150 ~ 180 d。固沙植被植物种主要为小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla*)、

收稿日期: 2018-09-17; 录用日期: 2018-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31560239); 多伦生态站项目 (2016-LYPT-DW-013)。

作者简介: 闫德仁 (1962-), 男, 内蒙古通辽人, 研究员, 博士, 研究方向为沙漠治理。E-mail: nmglkyydr@163.com。

油蒿 (*Artemisia ordosica*)、猪毛菜 (*Salsola collina* Pall.)、雾冰藜 (*Bassia dasyphylla*) 等, 植被平均盖度 45% ~ 50%, 固沙植被建立时间分别为 1956 年、1964 年、1981 年、1990 年。

2 材料与方法

2.1 样品采集

根据固沙林营造时间及植被恢复情况, 2017 年 8 月在腾格里沙漠中国科学院沙坡头研究站分别选择 1956 年 (植被年龄 62 年)、1964 年 (植被年龄 54 年)、1981 年 (植被年龄 37 年)、1990 年 (植被年龄 28 年) 建立的固沙植被样地, 并以风沙土为对照, 在上述样地采集苔藓结皮层样品, 结皮层厚度 1.0 ~ 1.5 cm。每个样地采集 3 个重复测试样品, 混合后的样品带回室内风干, 过 0.25 mm 筛备用。

2.2 颗粒物组成测定

采用 CLY-2000 激光颗粒分布仪测定颗粒物组成。每个测定样本 3 次重复。

2.3 腐殖质及其组成测定

采用重铬酸钾容量法测定样品有机质含量。腐殖质组成含量采用偏磷酸钠-氢氧化钠提取, 重铬酸钾容量法测定。胡敏酸 E_4 (465 μm) 和 E_6 (665 μm) 光密度值采用分光光度计测定。每个测试样本 2 个重复, 其平均值作为分析数据。

2.4 矿物质元素含量

采用偏硼酸锂熔融, 电感耦合等离子体发射光谱仪 (PE ICP-OES) 测定样品中矿物质元素含量, 并换算成氧化物含量。此外, 硅铁铝率是指用以表达土壤脱硅富铝化程度的比值, 是将 SiO_2 与 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 的含量分别除以二者的相对分子质量, 再求比值。计算参考如下公式:

$$\text{Sa} = \text{SiO}_2 / \text{R}_2\text{O}_3$$

其中, SiO_2 分子含量计算, SiO_2 含量 $\div 60$; R_2O_3 (Al_2O_3 、 Fe_2O_3) 分子含量计算, Al_2O_3 含量 $\div 102$, Fe_2O_3 含量 $\div 160$ 。

测定的数据采用 Excel 2003 软件进行分析。

3 结果与分析

生物土壤结皮层是沙漠地区最具特色的地表景观, 是流动沙土固定后形成固沙风沙土物质和能力交换的最表层。杜晓晖^[12]研究认为“沙漠结皮不仅是沙地固定后环境变化的直观反映, 而且是由藓

类植物组成的一层活地被物, 实质也是植物群落的组成部分”。因此, 沙漠地区生物土壤结皮层 (即苔藓结皮层) 的出现, 不仅是流动沙地被固定的重要表征, 而且对改善流动风沙土理化性质, 促进风沙土进一步发育等也具有积极作用。

3.1 苔藓结皮层颗粒物组成变化

颗粒组成是土壤重要的物理性指标, 特别是小于 10 μm 物理性粘粒增加对土壤物理性质影响巨大。而固沙植被能有效减少近地面风速, 同时由于固沙植被能够有效地控制地表风蚀以及降雨对风沙土表层的夯实作用和土壤微生物活动逐渐为苔藓结皮层的形成提供了有利条件, 且苔藓结皮层凸凹不平, 提高了苔藓的拦截细沙粒的能力。所以, 有研究者认为沙漠地区生物土壤结皮形成发育和细土多少有密切的关系。通常认为, 苔藓结皮层中细颗粒含量, 特别是物理性粘粒含量增加主要是受固沙植被盖度、苔藓结皮层粗糙表面所拦截富集的大气降尘多少等因素影响。

从图 1 看出, 随着固沙植被建立时间增加, 其苔藓结皮层小于 10 μm 物理性粘粒含量呈现出增加的趋势, 其中, 1956 年建立的固沙植被下, 苔藓结皮层小于 10 μm 物理性粘粒含量平均为 2.90%, 1964 年为 2.61%, 1981 年为 2.49%、1990 年为 1.81%, 风沙土对照为 1.25%。说明建立固沙植被后, 能够有效拦截更多的细颗粒物质, 并和大气降尘颗粒物特征有密切关系。凌裕泉等^[13]认为大气降尘中的细颗粒物积累是流沙表面结皮形成的物质基础和必要条件。Gillette 和 Dobrouolski^[14]认为尘埃沉降是形成土壤结皮的原因之一, Danin^[2]认为维管植物的建立, 能够沉积足够的粘粒和粉粒, 并为生物结皮的生长提供水分环境, 而一旦形成生物结皮, 对土壤发育具有促进作用。

此外, 从图 1 看出, 在腾格里沙漠沙坡头研究站, 苔藓结皮层颗粒物粒径主要分布在 350 ~ 400 以及 250 ~ 350 和 400 ~ 500 μm 范围。其不同年度植被下, 苔藓结皮层不同粒径颗粒物的平均含量分别为 36.03%、29.57% 和 27.82%, 风沙土分别为 36.06%、23.52% 和 28.95%。而苔藓结皮层大于 500 μm 粒径颗粒物平均只有 3.21%, 风沙土为 10.22%。在浑善达克沙地多伦生态站测定苔藓结皮层 300 ~ 350、350 ~ 400 μm 粒径含量分别为 30.1% 和 32.8%, 大于 400 μm 粒径颗粒物含量 8.65%。闫德仁等^[15]测定了浑善达克沙地多伦县

天然草地降尘粒径集中分布在 $50 \sim 150 \mu\text{m}$ 范围, 而榆树、杨树和樟子松林地降尘粒径集中分布在

$150 \sim 250 \mu\text{m}$ 范围。说明不同地区苔藓结皮层颗粒物粒径组成含量具有相似的特征。

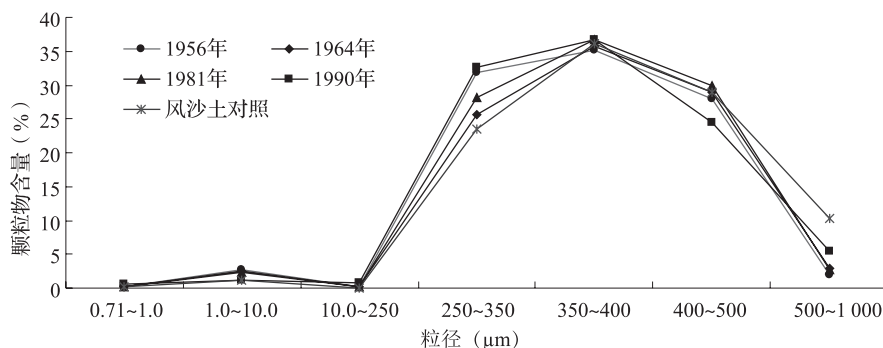


图1 不同植被年度下苔藓结皮层颗粒组成变化

3.2 苔藓结皮层腐殖质组成含量变化

土壤腐殖物质主要包括胡敏酸 (HA) 和富里酸 (FA), 而芳香核是胡敏酸的结构基础, 这种芳香核通过含氧功能团中 H^+ 的电离, 使胡敏酸具有

良好的功能, 其中就包括可溶性、吸收性和酸性。所以, 胡敏酸对改良风沙土的不良结构具有重要作用。或者说, 苔藓结皮层胡敏酸含量的增加对促进风沙土的形成演变过程具有积极的影响。

表1 不同植被年度下苔藓结皮层腐殖质特征的变化

植被年度	有机质 (g/kg)	腐殖酸 (g/kg)	胡敏酸 (g/kg)	富里酸 (g/kg)	HA/FA	E_4	E_6	E_4/E_6
1956 年	11.95	2.20	0.90	1.30	0.69	0.054	0.011	4.90
1964 年	10.28	1.80	0.80	1.00	0.80	0.044	0.007	6.28
1981 年	8.73	1.90	0.50	1.40	0.35	0.021	0.003	7.00
1990 年	8.61	2.10	0.40	1.70	0.23	0.019	0.004	4.75

注: HA/FA 为胡敏酸 / 富里酸, E_4 、 E_6 为胡敏酸在 465 、 $665 \mu\text{m}$ 处的光密度值。

从表1中看出, 1990到1956年固沙植被下, 苔藓结皮层有机质含量从 8.61 g/kg 增加到 11.95 g/kg , 腐殖酸从 2.10 g/kg 增加到 2.20 g/kg , 胡敏酸含量从 0.40 g/kg 增加到 0.90 g/kg , 并且胡敏酸的光学特性 E_4 、 E_6 吸光值增加, E_4/E_6 值在减少, 同样反映出随着固沙植被建立时间的增加, 苔藓结皮层胡敏酸的芳构化度和分子量也逐渐增加, 其结构得到改善, 并进一步影响着风沙土演变过程。张玉兰等^[16]在中国科学院沙坡头沙漠试验站研究表明, 土壤中腐殖质及其组分的含量随着植被恢复年代的增加而呈现出增加趋势, 而且 HA/FA 值也呈现增加趋势, 说明植被固定改善了土壤质量, 土壤腐殖化程度增加, 土壤质量有了很大提高。陈隆亨等^[17]认为, “在不同气候区, 随着降雨量减少和温度增高, 风沙土中 HA/FA 值呈现出减低的趋势, 并且在亚湿润气候下的黑钙土区, 风沙土胡敏酸分子中的芳香核缩合程度高, 结构较复杂”。这就意

味着, 由西向东, 随着降水量增加和温度降低, 沙漠生物结皮层的腐殖质结构及其复杂程度呈现增加特征, 并对改善土壤肥力特性和理化性质具有积极的促进作用, 或者说, 我国西部荒漠地区的胡敏酸结构更趋于简单化, 分子中芳香核缩合程度也更低, 对该区域风沙土改良作用效果相对缓慢。

3.3 苔藓结皮层全量化学元素含量变化

土壤矿物质既是植物矿质营养的源泉, 也是影响土壤肥力水平的重要因素。由于沙漠地区干旱、少雨、大风等不利环境, 风沙土细颗粒物物质相对更少。而流动沙地一旦被固定, 并且固沙植被下形成苔藓结皮层后细颗粒物物质增加, 进一步改善风沙土的全量化学组成含量。

从表2看出, 沙漠苔藓结皮层全量化学组成 (SiO_2 除外) 含量均高于对照风沙土, 且随着固沙植被建立时间的增加, 苔藓结皮层 SiO_2 含量呈现出明显降低的趋势。从 1990 ~ 1956 年时间

表 2 不同植被年度下苔藓结皮层全量化学组成含量变化 (g/kg)

植被年度	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	SiO ₂
1956 年	85.71	186.62	0.69	45.79	35.85	20.83	1.90	39.90	3.94	637.29
1964 年	88.86	186.62	0.68	46.76	36.93	21.17	1.90	39.48	3.92	563.14
1981 年	81.43	193.80	0.60	44.83	35.58	17.83	1.53	29.82	4.44	575.57
1990 年	75.43	174.91	0.55	45.07	35.31	16.83	1.40	30.52	4.00	658.93
风沙土对照	55.71	153.76	0.36	40.49	33.16	9.27	0.57	13.82	2.92	753.71

段, SiO₂ 含量由 658.93 g/kg 下降到 637.29 g/kg, 而对照风沙土 SiO₂ 含量为 753.71 g/kg。随着苔藓结皮层 SiO₂ 含量的降低, 其它全量化学元素含量均呈现不同程度的增加趋势。特别是苔藓结皮层中 Fe₂O₃、Al₂O₃、MnO、MgO、CaO、P₂O₅ 等含量显著增加, 对改善风沙土养分状况具有积极意义。陈隆亨等^[17]认为, 随着土壤发育, 其化学成分具有增加的趋势, 这种关系既与植物生长后促进了土壤中矿物风化有关, 也受到了不断沉积的细土物质的影响。所以沙漠苔藓结皮层的形成和长期保留, 对改良风沙土矿物质元素含量及促进风沙土形成演变意义重大。

3.4 苔藓结皮层硅铁铝率变化

硅铁铝率是指用以表达土壤脱硅富铝化程度的比值。而随着流动风沙土固定程度的增加, SiO₂/R₂O₃、SiO₂/Al₂O₃、SiO₂/Fe₂O₃ 比率逐渐降低^[17], 表明土壤发育过程逐渐向好的方向发展。

从表 3 看出, 随着固沙植被建立时间的增加, 苔藓结皮层硅铁铝率均表现出降低的趋势。其中, 对照风沙土 SiO₂/R₂O₃、SiO₂/Al₂O₃、SiO₂/Fe₂O₃ 分别为 6.77、8.33 和 36.08; 而 1990 年建立的固沙植被, 其苔藓结皮层分别为 5.02、6.40 和 23.30; 1964 年建立的固沙植被, 其苔藓结皮层分别为 3.94、5.13 和 16.90; 1956 年建立的固沙植被, 其苔藓结皮层分别为 4.49、5.81 和 19.83。表明沙漠

表 3 不同植被年度下苔藓结皮层硅铁铝率变化

植被年度	Fe ₂ O ₃ (g/kg)	Al ₂ O ₃ (g/kg)	SiO ₂ (g/kg)	SiO ₂ / R ₂ O ₃	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	SiO ₂ / Fe ₂ O ₃
1956 年	85.71	186.62	637.29	4.49	5.81	19.83
1964 年	88.86	186.62	563.14	3.94	5.13	16.90
1981 年	81.43	193.80	575.57	3.98	5.05	18.85
1990 年	75.43	174.91	658.93	5.02	6.40	23.30
风沙土对照	55.71	153.76	753.71	6.77	8.33	36.08

环境下, 苔藓结皮层中细颗粒物成分沉积量更多一些, 相应的 Fe₂O₃、Al₂O₃ 含量也高。陈隆亨等^[17]数据表明, 在科尔沁沙地奈曼旗, 0 ~ 10 cm 土层 Al₂O₃ 含量为 77.30 g/kg, Fe₂O₃ 含量为 7.45 g/kg, SiO₂ 含量为 862.6 g/kg; 在浑善达克沙地, 正兰旗 0 ~ 16 cm 土层 Al₂O₃ 含量为 80.70 g/kg, SiO₂ 含量为 813.8 g/kg, Fe₂O₃ 含量为 14.40 g/kg; 在腾格里沙漠, 中卫县 0 ~ 1 cm 土层 Al₂O₃ 含量为 103.20 g/kg, SiO₂ 含量为 720.1 g/kg, Fe₂O₃ 含量为 30.50 g/kg。说明沙漠苔藓结皮层的存在对风沙土形成演变具有促进作用。

4 讨论

沙漠生物结皮层不仅对固定流沙具有重要的作用, 而且对改善流动风沙土理化性质, 促进风沙土发育等也具有积极作用。因为, 沙漠生物结皮层是在风沙环境下, 土壤颗粒物与有机物紧密结合在土壤表层而形成的一种壳状体, 主要由活的微小生物及其代谢产物(胞外多糖)与砂粒组成, 是风沙土物质和能力交换的最活跃的表层。齐雁冰等^[18]研究认为, 生物结皮层颗粒组成细化趋势随植物固定流沙时间增加而发生明显变化, 并且土壤速效养分、全氮以及有机碳含量也不断增加。宁远英^[19]研究表明, 藻类结皮向苔藓结皮发育过程中, 粉砂逐渐增加, 粗砂、细砂含量逐渐减少, 而理化性质不断改善的固定风沙土对苔藓结皮的形成又具有促进作用, 不断增加风沙土表面苔藓结皮层的盖度面积, 进一步促进了风沙土养分含量的增加, 并为其发育演化提供了相对丰富的物质条件。谢静等^[20]研究表明, 呼伦贝尔、科尔沁和浑善达克沙地等 3 个沙地优势重矿物为石榴石、钛铁矿和绿帘石, 含量较多的重矿物种类有角闪石、磁铁矿、楣石、锆石、辉石、金红石和电气石。闫德仁等^[7]研究表

明,生物结皮层养分含量随着生物结皮层形成年份延长而明显增加,土壤细颗粒成分也表现出同样的变化特征。本研究进一步表明,风沙环境下,随着苔藓结皮层形成时间增加,全量化学元素组成含量呈现出增加的趋势,且苔藓结皮层全量化学元素组成含量明显高于对照风沙土,而表达土壤脱硅富铝化程度的硅铁铝率则显著降低,表明沙漠苔藓结皮层对促进风沙土形成演变和改良风沙土理化性质意义重大。同时,和苔藓结皮层中各元素含量相比,大气降尘中矿物元素(Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 CaO 、 MgO)含量显著增加,而随着大气降尘的落地,这些矿物元素将参与物质循环过程,并进一步影响风沙土全量化学元素组成含量变化。所以,大气降尘在促进风沙土演变、改善苔藓结皮层养分含量等方面具有积极作用。

5 结论

风沙环境下苔藓结皮层全量化学元素组成(SiO_2 除外)含量均高于对照流动风沙土,但仍具有流动风沙土的特征,并且随着固沙植被建立时间增加,其苔藓结皮层 SiO_2 含量呈现出明显降低的趋势,其它全量化学元素含量均呈现增加趋势。

苔藓结皮层硅铁铝率低于对照流动风沙土,且随着固沙植被建立时间增加,其苔藓结皮层硅铁铝率均呈现降低趋势,表明苔藓结皮层的存在对风沙土形成演变具有促进作用。

沙坡头固沙植被下苔藓结皮层颗粒物粒径集中分布在 $350 \sim 400 \mu\text{m}$ 范围,并随着固沙植被建立时间增加,苔藓结皮层 $<10 \mu\text{m}$ 粒径的颗粒物含量增加,苔藓结皮层有机质、腐殖酸、胡敏酸含量增加,且胡敏酸的光学特性 E_4 、 E_6 吸光值增加,而 E_4/E_6 值在减少。表明苔藓结皮层对改善风沙土理化性质具有重要作用。

参考文献:

- [1] 闫德仁,薛英英,赵春光. 国外沙漠生物结皮研究概况[J]. 内蒙古林业科技, 2007, 33(1): 39-42.
- [2] Danin A. The impact of prevailing winter winds on the distribution of vegetation in the Judean Desert [J]. Israel. J. Arid Environments, 1989, 17: 301-305.
- [3] 闫德仁,薛英英,赵春光. 沙漠生物结皮国内研究现状[J]. 内蒙古林业科技, 2007, 33(3): 28-32.
- [4] 李卫红,任天瑞,周智彬,等. 新疆古尔班通古特沙漠生物结皮的土壤理化性质分析[J]. 冰川冻土, 2005, 27(4): 619-626.
- [5] 贾宝全,张红旗,张志强,等. 甘肃省民勤沙区土壤结皮理化性质研究[J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1442-1448.
- [6] 郭铁瑞,赵哈林,赵学勇,等. 科尔沁沙地结皮发育对土壤理化性质影响的研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 135-139.
- [7] 闫德仁. 库布齐沙漠苔藓结皮层的肥岛特征研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [8] 张元明,杨维康,王雪芹,等. 生物结皮影响下的土壤有机质分异特征[J]. 生态学报, 2005, 23(12): 3420-3425.
- [9] 单飞彪. 自然和人工藓类结皮层对土壤及植物营养元素含量的影响初探[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- [10] 崔燕,吕貽忠,李保国. 鄂尔多斯沙地土壤生物结皮的理化性质[J]. 土壤, 2004, 36(2): 197-202.
- [11] 张军红,吴波. 油蒿与臭柏沙地生物结皮对土壤理化性质的影响[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(3): 58-61.
- [12] 杜晓晖. 沙地地表结皮的研究[J]. 中国沙漠, 1990, 10(4): 31-36.
- [13] 凌裕泉,屈建军,胡纹. 沙面结皮形成与微环境变化[J]. 应用生态学报, 1993, (4): 393-398.
- [14] Gillette D A, Dobrouolski J P. Soil crust formation by dust deposition at Shaartaz, Tadzhik S.S.R [J]. Atmospheric Env, 1993, 27(12): 2519-2525.
- [15] 闫德仁,黄海广,薛博. 浑善达克沙地大气降尘颗粒物特征研究[J]. 生态环境学报, 2018, 27(1): 87-92.
- [16] 张玉兰,孙彩霞,段争虎,等. 光谱法分析固沙工程对土壤腐殖质及组分的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 31(1): 179-183.
- [17] 陈隆亨,李福兴,邸醒民,等. 中国风沙土[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [18] 齐雁冰,常庆瑞,惠浹河. 高寒地区人工植被恢复过程中沙表生物结皮特性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 98-103.
- [19] 宁远英. 科尔沁沙地生物结皮中土壤微生物、土壤酶活性的变化及其与土壤因子的关系[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2010.
- [20] 谢静,丁仲礼. 中国东北部沙地重矿物组成及沙源分析[J]. 中国科学 D 辑 地球科学, 2007, 37(8): 1065-1072.

Study on soil properties evolution of moss biological crust layer in Shapotou area

YAN De-ren, ZHANG Zheng-nan, YAN Ting (Inner Mongolia Academy of Forestry Science, Hohhot Inner Mongolia 010010)

Abstract: Moss crust is the top type of desert crusts. The mossy crust layer also has a good effect on improving the ecological environment of the aeolian area and promoting the development of aeolian sandy soil. In this paper, samples of mossy crust layers under different sand fixation ages were collected. The particle size, humus characteristics and total chemical element content of the moss crusts layer were determined by conventional methods and inductively coupled plasma optical emission spectrometry (PE ICP-OES). The results showed that the particle size of the mossy crust layer was mainly distributed in the range of 350 ~ 400 μm , and with increasing sand-fixing age, <10 μm particle size of the particulate matter content of mossy crust layer showed an increase trend. With increasing sand-fixing age, the organic matter content of mossy crust layer increased from 8.61 g/kg to 11.95 g/kg, total humid acid increased from 2.10 g/kg to 2.20 g/kg, the humic acid content increased from 0.40 g/kg to 0.90 g/kg, and the optical properties of the absorbance of the humic acid E_4 and E_6 were increased, but the E_4/E_6 ratio was decreased. The total chemical composition (except SiO_2) of the moss crust layer was higher than that of the flowing sand, and with increasing sand-fixing age, the content of SiO_2 in mossy crust layer showed a significant decrease trend, but the content of other total chemical elements showed an increasing trend. The rate of ferrosilicon in the moss crust layer was lower than that of the control flowing sand, with increasing sand-fixing age, the ferrosilicon ratio of mossy crust layer showed a decrease trend. The content of total chemical elements and the ferrosilicon ratio in atmospheric dustfall were better than those of mossy crust and control flowing sand. The formation and long-term retention of the mossy crust layer in the aeolian environment could improve the content of fine particles, improve the characteristics of soil humus, increase the content of mineral elements, and reduce the rate of ferrosilicon, which had a positive effect on promoting the formation and evolution of aeolian sandy soil.

Key words: moss crust layer; Shapotou area; humus composition; total chemical elements; ferrosilicon rate; soil properties

[上接第 30 页]

City have the largest amount and they accounted for 54.0% of the total province. From the perspective of pollution risk, the average load in Henan Province is $16.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, and the alarm level is at level II, which brings a bit of pollution threat to the environment. (2) The theoretically capacity of pigs equivalent in Henan Province are 74.024 million, and the actual breeding has overloaded by 20.473 million pig equivalents. Among them, Zhumadian City, Pingdingshan City, Luoyang City and Xinyang City have the most serious overloading, accounting for 50.1% of the total province overloading. (3) The main pollutants in water bodies in Henan Province are TN and TP, while the equivalent emission of COD is relatively low. The province's average diffusion concentration is $128.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, which has been to serious pollution. The average equivalent pollution index is $12.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, which shows a little pollution to the water environment. The most serious environmental pollution locates in Kaifeng City, with a Pollution index of $31.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The least environmental pollution is in Xinyang City, with a pollution index of $2.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. (4) Judging from the comprehensive pollution load of arable land and water bodies, Kaifeng City, Pingdingshan City and Luohe City have more serious potential pollution risk to the arable land and water bodies, Anyang and Xinyang have less environmental problems.

Key words: livestock and poultry breeding; pig equivalent; risk level; equivalent emission; pollution index