

农牧交错带地表覆盖物对土壤入渗的影响

卢晓杰, 李瑞, 张克斌

(北京林业大学 水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为了解我国北方农牧交错区不同地表覆盖物对土壤入渗的影响, 以宁夏回族自治区盐池县为例, 采用样线调查法进行地被状况调查, 并在所设样线各样方内对应进行入渗试验。通过对外业数据的处理、分析, 对各种地被状况影响入渗的情况进行了探讨。结果表明, 植物的生长对水分入渗具有促进作用。植被盖度与入渗深度之间呈指数相关关系, 相关系数达 0.893。枯落物的覆盖对水分的入渗具有明显的阻碍作用, 两者呈对数相关关系, 相关系数高达 0.921。生物结皮对入渗具有明显的阻碍作用, 结皮盖度与入渗深度之间呈线性负相关, 相关系数为 -0.765, 说明结皮的存在使土壤水分呈现浅层化趋势。

关键词: 植物; 结皮盖度; 土壤入渗

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)01-0001-05

中图分类号: S152.7+.2

Influence of Surface Coverage on Soil Infiltration in the Farming-grazing Transitional Zone

LU Xiaojie, LI Rui, ZHANG Kebin

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, and Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: This study was conducted to understand the influence of surface coverage on soil infiltration in the farming-grazing transitional zone by taking Yanchi County, Ningxia Hui Autoums Region as an example. The sample line method was used for the survey of plant coverage and infiltration measurements were carried out in sample plots. After field data were processed and analyzed, the effects of ground patterns on infiltration were then examined. Results show that plant growth can accelerate infiltration and plant coverage is exponentially related to infiltration depth with a correlation coefficient of 0.893. The withered materials can significantly prevent water infiltration and the two present a logarithmic relation at a correlation coefficient of 0.921. Bio-crust clearly impedes water infiltration and bio-crust coverage is negatively correlated to infiltration depth with a correlation coefficient of -0.765. This implies that bio-crust is mainly responsible for the thinning trend of soil water content.

Keywords: plant; bio-crust coverage; infiltration

水分进入土壤的过程是一个复杂的水文过程。它与土壤湿度、容重、表土结构等多种因素有关, 还受草本植物状况、根系分布、枯落物覆盖等多种因素的影响。土壤水在水资源的形成、转化及消耗过程中有重要作用^[1], 是荒漠化地区生态系统功能正常发挥的关键因子, 同时也是植物生长的最大限制因子^[2]。

长期以来, 国内外学者对土壤入渗进行了大量测定和研究, 并取得了许多重要成果。H. Darcy, R. Horton, A. Kostiakov, M. Sozeikin 和 J. Phillips 等

对土壤入渗从机理上做了较好的阐释^[3-4]。Bemdtson、Nish 等对沙地水分再分配过程进行了探讨^[5-6]。郑子成等研究发现加大地表粗糙度能增大入渗^[7]。江爱良等^[8]、张文军^[9]、赵文智^[10]、赵爱芬等对沙地土壤水分变化过程进行了研究^[11]。此外, 分布于干旱、半干旱地区的土壤微生物结皮对降水入渗、再分配过程与土壤水分状况变化的影响也引起国内外学术界广泛的关注。Eldridge D. J. 等对生物结皮与入渗的关系研究结果表明^[12], 若去除生物结皮入渗量

收稿日期: 2007-04-04

修回日期: 2007-10-03

资助项目: 国家自然科学基金资助项目“半荒漠地区湿地植被群落时空分布特征研究”(30771764); 国家林业局项目“盐池荒漠化定位监测”(660550)

作者简介: 卢晓杰(1982-), 男(汉族), 山东省莱州市人, 在读硕士, 主要研究方向为荒漠化防治与监测。E-mail: luxiaojie5172@163.com。

将增加 3~5 倍。Moore 研究结果表明,表土结皮能减小入渗量 70% 左右^[13]。蔡强国等的研究,也得出了相近的结果^[14]。近年来,许多学者对入渗相关材料进行了更广泛的研究。陈军锋等研究了地表覆膜对季节性冻融土壤入渗规律的影响^[15];周维、张建辉^[16]、杨永辉等对不同土地利用方式下的土壤入渗特性进行了深入研究^[17];此外,李亚娟等^[18]还对土壤入渗分布规律进行了探讨,张华、李毅等对影响土壤入渗的因素进行了分析,成果显著^[19-20]。

本研究主要探讨半干旱农牧交错带不同地被状况对土壤水分入渗的影响,以阐明半干旱农牧交错区植被系统—人工生态系统对区域水分入渗的影响,为我国荒漠化土地人工植被恢复工作提供理论基础,为荒漠、草原过渡区的综合治理与开发提供科学依据,对增加降水入渗和土壤蓄水,提高降水有效利用率具有指导意义。

1 研究区概况

盐池县位于宁夏回族自治区东部,地理坐标为北纬 $37^{\circ}04' - 38^{\circ}10'$,东经 $106^{\circ}30' - 107^{\circ}41'$ 之间。盐池县北与毛乌素沙地相连,南靠黄土高原,在地理位置上属于一个典型的过渡地带。自南向北地形上是从黄土高原向鄂尔多斯台地(沙地)过渡地带,在气候上是从半干旱区向干旱区的过渡地带,在植被上是从干草原向荒漠的过渡地带,在资源利用上是从农区向牧区过渡地带。这种地理上的过渡性造成了该县自然条件资源的多样性和脆弱性特点。

盐池县植被在区系上属于亚欧草原区亚洲中部亚区——中国中部草原区的过渡带。共有种子植物 331 种,分属 57 科,221 属。植被类型有灌丛、草原、草甸、沙地植被和荒漠植被。其中灌丛、草原、沙地植被数量较大,分布也广。由于该县地理位置和诸多自然因素的过渡性特点,植被类型也显示出自南而北逐渐演替和互相交错的过渡性特点。该县属于典型中温带大陆性气候。干旱少雨,风大沙多,蒸发强烈,日照充足是该县气候的 4 大特点。该县年平均降水 250~350 mm,从南向北,从东南向西北递减。中温带和干旱半干旱的气候条件,决定了该县的自然景观为温带草原和荒漠草原。盐池县土壤以灰钙土为主,其次是黑垆土和风沙土。此外有黄土,少量的盐土、白浆土等。灰钙土分布在该县中、北部及萌城一带,土层较厚,质地多轻壤。南部黄土高原丘陵区以黑垆土为主,土壤中粉粒、黏粒含量较高,其次为灰钙土。北部鄂尔多斯缓坡丘陵区以风沙土、灰钙土为主。再向

2 研究方法

2.1 样方调查

本研究结合“全国荒漠化定位监测”项目及国家自然科学基金资助项目,按照典型性、代表性和科学性的设置原则,选择有代表性地段,采用 GPS 定位,分别设置固定样地,进行定位监测。研究的区域选在盐池县的人工封育区,面积 30 km^2 ,砂质草地类型。主要采用样线调查的方法,从封育区的外围、边缘、内部连续取样,区域间间距 2 km^2 。沿样线在 3 块区域内均匀布设数目相等的 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 样方(考虑到调查区内多为草本植物),进行实地调查。调查时间为 8 月份(植物生长季节),调查内容包括植被盖度、结皮盖度、枯枝盖度、群落类型等。

2.2 入渗试验

在不同植被、枯落物覆盖情况和不同结皮覆盖情况下分别进行入渗试验。入渗试验采用自制双套环入渗仪进行,内环直径 30 cm,外环直径 80 cm,在不破坏土壤原状情况下,一次性插入试验地块。其中内环供水用量筒计量。试验采用积水入渗的方法,内外环积水深度均为 2 cm。试验日期选在 8 月份与样方调查同期进行,入渗试验用水为桶装常温水,秒表记录入渗时间,待入渗稳定后在入渗点挖土壤剖面量取实际入渗深度结束试验。

3 结果分析

3.1 植物及枯落物对入渗的影响

3.1.1 植被覆盖对入渗的影响 研究区降水稀少,植被多为旱生、强旱生的草本和灌木种,植被对水分入渗的影响具有特殊性和典型性。本研究沿样线用样方调查方法调查了 18 个样方的植被盖度及入渗深度,数据分布如图 1 所示。相关分析结果表明,植被盖度与入渗深度的相关关系较为密切,相关系数达 0.888,且在显著性水平为 0.01 时,相关性密切,说明植被盖度对入渗深度影响显著。为求得植被盖度与入渗深度之间的相互关系,本文分别采用线性、对数、指数 3 种方法进行回归分析,得 3 种回归模型如表 1 所示。由表 1 可知,3 种回归方式中指数回归模型拟合较好,相关系数 R 达 0.893,明显高于其它 2 种模型。故指数回归模型较好地反映了北方农牧交错带植被盖度与入渗深度的相关关系(如图 1 所示)。

由回归模型可知,植被的覆盖对水分入渗具有明显的促进作用,植被促进了水分的深层入渗。植被对水分入渗的促进作用表现在多方面。首先,土壤中植

量,降低了土壤容重,促进了土壤团聚体形成,改善了土壤的入渗性能。其次,植物根系的生长、穿插、死亡增加了土壤孔隙度,特别是非毛管孔隙度,这些根系腐烂后形成的管状孔隙在水分渗透上起着决定性的作用。有研究表明,土壤的通透性主要取决于当量孔径超过0.02(或0.06) mm的非毛管孔隙,这些大孔隙结构对土壤入渗性能产生巨大的影响^[21-22]。植被覆盖情况下,一方面,根系在土体内的增大、增粗、交织缠

绕,与土体之间常形成间隙;另一方面,随着根系的死亡、腐烂,大孔隙在逐步增多,这些大孔隙会显著地提高土壤的入渗能力。此外,植被的存在可有效截留降水,减少雨滴击溅侵蚀,保护土壤团粒结构。而裸地缺少植物庇护,在雨滴打击下,土壤结构易受破坏,很容易形成物理结皮,因而入渗性能较差。因此,植被盖度越大,这种增加土壤孔隙度、保护土壤团粒结构的作用就越明显,对土壤的增渗作用也就越显著。

表 1 不同植被盖度与入渗深度回归模型及相关参数

回归方式	回归分析模型	相关系数 R	相关系数平方 R^2	误差绝对值均值
线性	$y = 8.09 + 0.34x$	0.888	0.789	1.61
对数	$y = 12.267 \ln x - 23.152$	0.815	0.664	2.03
指数	$y = 12.10e^{0.014x}$	0.893	0.798	1.46

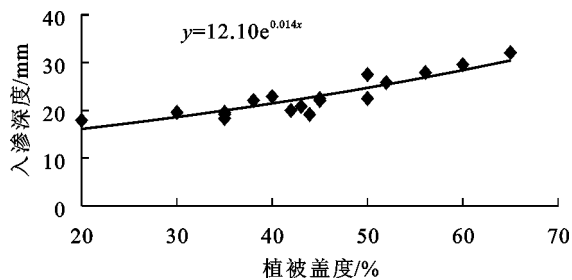


图 1 植被盖度与入渗深度的指数关系

3.1.2 枯落物对入渗的影响 半干旱地区由于其特殊的降水条件和旱生植被耗水现象使得该地区枯落物对入渗的影响表现出一些特有的规律。图 2 直观地显示了研究区样线内枯枝落叶盖度与入渗深度的数据分布。

相关分析结果表明,枯枝盖度与入渗深度的相关关系较为密切,相关系数达-0.813,且在显著性水平为0.01时,相关性显著,说明枯枝落叶的覆盖对入渗影响显著。为求得枯枝盖度与入渗深度之间的相互关系,本研究同时采用线性、对数、指数3种方法进行回归分析,得3种回归模型如表2所示。由表2可知,这3种回归方式中对数回归模型拟合较好,相关系数 R 高达-0.921,显著高于其它两种模型。故选择对数回归模型作为研究区反映枯枝盖度与入渗深度关系的最佳模型(如图2所示)。由回归模型可知,枯落物的存在,阻碍了水分的入渗,使水分入渗深度

减小,入渗水量减少,不利于降水的存和吸收利用。从短期来看,研究区降水稀少且无效降水居多,枯枝落叶的存在减少了降水入渗,对植物的水分利用造成了负面影响。一方面,枯落物的存在,在土壤表面形成了阻隔层,延长了降水的入渗时间,使降水在入渗前因蒸发而损失;另一方面,枯落物本身具有吸水性,降水过程中干枯的凋落物会吸收消耗水分,使接触到土壤的有效降水减少,造成了水资源的浪费。但从长期来看,枯落物有利于水分的入渗调查中发现,有些地方虽然枯落物少,但这些地方曾有过大量枯落物覆盖,这些枯落物大部分腐烂分解。枯落物分解形成的腐殖质与黏粒结合形成微团聚体,可增加土壤有机质的含量,改善土壤的理化性质和土壤结构,使土壤容重降低,质地变得疏松,孔隙度增大,改善了土壤的入渗性能。

此外,枯落物还可以形成保护层,保护和稳定土壤结构,尤其是孔隙结构,减少雨滴动能和击溅侵蚀,防止土壤形成物理结皮以致于影响入渗。

综上所述,荒漠化地区枯落物覆盖多的地方阻碍了降水的入渗。所以,今后问题的关键是如何促进枯落物腐烂分解,使阻碍作用减少,并增加土壤有机质含量,改善土壤结构。研究区可在适当时期采取诸如人工耕作等措施,将枯落物翻于土下,加快它们的分解,以改善土壤入渗性能,增加水分入渗。

表 2 枯枝盖度与入渗深度不同回归模型及相关参数

回归方式	回归分析模型	相关系数 R	相关系数平方 R^2	误差绝对值均值
线性	$y = 28.14 - 16.30x$	-0.813	0.661	1.97
对数	$y = -6.06 \ln x + 14.92$	-0.921	0.849	1.37
指数	$y = 28.35e^{-0.711x}$	-0.849	0.720	1.82

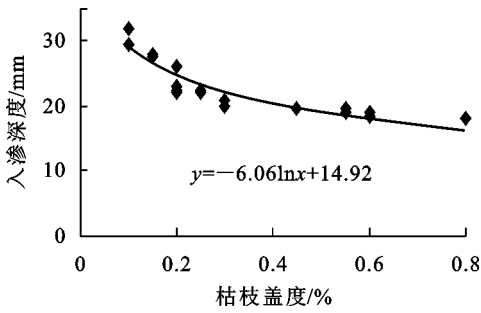


图 2 枯枝盖度与入渗深度的对数关系

3.2 生物结皮对入渗的影响

在生物结皮影响降雨入渗的研究上,学术界一直存在着“促进论”和“降低论”两种截然不同的结论。就盐池而言,该县地处农牧交错带,生物结皮对入渗的影响具有典型性。为研究结皮的覆盖是否对土壤入渗产生影响,本研究分别在有结皮和无结皮的情况下调查了 2 组入渗数据进行对比分析(如表 3 所示)。由表 3 求得关于入渗深度的 2 组均值分别为 21.77 cm 和 27.95 cm,无结皮的平均入渗深度比有结皮的情况下多 6.18 cm。经方差分析可知,在显著性水平为 0.01 的情况下, F 检验中, $F_{(1,20)} = 8.10 < F = 17.595$,表明 2 组入渗深度差异显著,生物结皮的存在影响了地表水分的入渗,有结皮样方的入渗深度明显小于无结皮样方。

为研究结皮与入渗之间的对应关系,本研究测量了连续样线内 11 组不同结皮盖度的入渗深度,见表 3 及图 3。相关分析结果表明,结皮盖度与入渗深度的相关关系较为密切,相关系数为 -0.765,且在显著性水平为 0.01 时,相关性密切,呈现出明显的负相关关系。为进一步探求两者之间的关系,对图 3 中数据进行回归分析,得出两者之间存在着显著线性关系,所建立的回归方程为: $y = 32.166 - 0.137x$ 。在显著性水平为 0.01 的情况下,方差检验的结果 $F = 22.542 > F_{(1,16)} = 8.53$,回归系数绝对值远大于零,说

明生物结皮对水分入渗影响显著,两者呈明显的线性负相关(见图 3)。

研究结果表明,研究区生物结皮使土壤水分的分配过程发生了很大变化,土壤水分再分配过程有明显的浅层化趋势。生物结皮的存在,阻止了水分向深层渗透,其结果导致了沙土下层产生物理干旱,驱使深根系灌木种的衰退和浅根系半灌木以及 1 a 生草本植物的蔓延。

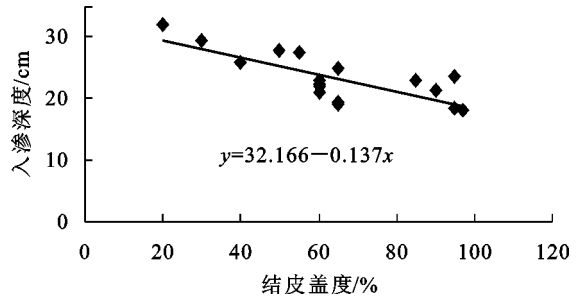


图 3 结皮盖度与入渗深度的线性关系

本研究区中结皮的存在阻碍了入渗,究其原因,首先,结皮本身的吸水特性使得雨天结皮有机体因吸水而膨胀,并且生物结皮的生长发育也要吸收一定的水分,导致水分在入渗过程中损失消耗;其次,生物结皮粘结细粒或封闭表土的导水孔隙,使得降水过程中水分无法通过土壤间的非毛管孔隙入渗,水分因无法入渗而蒸发损失,入渗量减少。低温扫描电子显微镜对生物结皮与入渗关系的研究结果表明^[23],由于结皮表皮具有明显不透水特性,可有效阻止水分穿透表皮向下层入渗。研究区属干旱、半干旱的农牧交错地带,降水稀少且无效降水偏多,一次降水被植被利用的数量不多。结皮的阻碍使得植被的水分利用情况更加恶化,深根系草本和灌木种无法获得足够水分,生长受到抑制。因此,适当的破坏结皮可促进植物对水分的吸收利用,有利于植物的生长发育。

表 3 两种结皮状况下的入渗深度

类型	入渗深度/cm										
有结皮	18.5	23.5	18.0	23.0	21.5	25.0	22.0	19.5	27.5	22.0	19.0
无结皮	33.0	32.0	34.0	26.0	30.0	22.0	24.0	26.0	26.5	25.0	29.0

4 讨论

影响水分入渗的生态因子有很多种,包括土壤因子(如土壤理化性质、土壤孔隙度等),生物因子(如植物、动物及微生物等),地形因子(如坡向、海拔高度、盆地、丘陵等)以及人为因子。每种生态因子在数量、强

产生不同的影响。其中土壤因子是直接因子和关键因子,其它因子都或多或少与它有关,通过作用于它进而影响土壤入渗。

水分的入渗不仅仅受一种因子作用,而是同时受到各种生态因子的综合作用。有些因子起限制作用,有些起促进作用,因子间的不同组合也可以形成相似些

起促进作用的因子的影响, 抑制那些限制因子的作用, 从而人为地增加水分的入渗。

本文所研究的不同地表覆盖物属生物因子一类, 是各生态因子中最敏感的因子, 其它因子相对稳定, 短时间内不易发生大的改变。因而, 掌握地被物的作用规律就可以通过改变单一敏感因子带动其它因子, 最终改善各生态因子的综合作用效果, 提高半干旱地区的降水入渗量。此外, 需要注意的是, 生态因子的作用具有阶段性。本文中所研究的植被、生物结皮的生长、发育阶段不同, 以及枯枝落叶的分解阶段不同, 对入渗产生的作用也不同, 甚至是促进与阻碍的差别, 这种阶段性的影响还有待于进一步研究和探讨。

5 结论

(1) 植被盖度与入渗深度之间呈指数相关关系, 两者相关系数达 0.893, 回归模型为 $y = 12.10e^{0.014x}$ ($R = 0.893$)。

(2) 枯落物的覆盖对水分的入渗具有阶段性的影响。枯落物覆盖初期, 由于枯落物对水分的阻隔和消耗作用, 两者呈对数负相关关系, 相关系数达 -0.921, 回归方程为 $y = -6.06\ln x + 14.92$ ($R = -0.921$)。但当枯落物分解后, 枯落物将改良土壤入渗性能, 增加土壤入渗。荒漠化地区可采用适当的人工耕作等措施加快枯落物的分解, 提高土壤入渗性能。

(3) 生物结皮阻碍水分入渗, 结皮盖度与入渗深度两者呈线性负相关。结皮的存在使土壤水分呈现浅层化趋势, 不利于深根性植物的生长。在结皮覆盖度不高的地方水分入渗深度仍然受到影响, 这表明结皮阻碍水分入渗不仅是因为结皮覆盖地面对水分造成的阻隔, 结皮本身就具有吸湿耗水的特性, 这虽不利于水分的深度入渗却有利于水分的保存, 可以间接为草本植物利用。

[参 考 文 献]

[1] 雷志栋, 胡和平, 杨秀诗. 土壤水研究进展与评述[J]. 水科学进展, 1999, 10(3): 311—318.

[2] 李新荣, 马风云, 龙立群, 等. 沙坡头地区固沙植被土壤水分动态研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 218—222.

[3] 李勇, 朱显谟, 田积莹. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J]. 科学通报, 1992, 37(4): 366—369.

[4] Smith R E, Parlange J Y A. Parameter efficient hydrologic infiltration model[J]. Water Resources Research, 1978, 14(3): 533—538.

[5] Berndtsson R, Chen Heshen. Variability of soil water content along a transect in a desert area[J]. J. Arid Environ, 1994, 27: 127—139.

[6] Nish M. S, Wierenga P J. Time series analysis of soil moisture and rain along a line transect in arid rangeland[J]. J. Soil Sci., 1991, 152: 189—198.

[7] 郑子成, 吴发启, 何淑勤. 耕作措施对产流作用的研究[J]. 土壤, 2004, 36(3): 327—330.

[8] 江爱良, 陈建绥. 降水对沙地水分影响的初步观测[M]// 治沙研究第四号. 北京: 科学出版社, 1962: 255—265.

[9] 张文军, 胡小龙, 阿腾格, 等. 毛乌素沙地土壤水分的影响因素及消长规律[J]. 内蒙古林业科技, 1996(3, 4): 27—31.

[10] 赵文智, 刘志民, 常学礼. 奈曼沙地植被土壤水分状况研究[J]. 干旱区研究, 1991, 9(3): 40—44.

[11] 赵爱芬, 赵学勇, 常学礼. 奈曼旗沙丘植被根系特征研究[J]. 中国沙漠, 1997, 17(增刊1): 41—45.

[12] Eldridge D J, Zaady G J, Shaehak M E. Infiltration through three contrasting biological soil crusts in patterned landscapes in the Negev, Israel[J]. Catena, 2000, 40(3): 323—336.

[13] Moore. Effect of surface sealing on infiltration[J]. Transactions of the ASAE, 1984, 24: 201—205.

[14] 陈永宗. 晋西黄土高原土壤侵蚀规律实验研究文集[C]. 北京: 水利电力出版社, 1990.

[15] 陈军锋, 郑秀清, 邢述彦, 等. 地表覆膜对季节性冻融土壤入渗规律的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 18—21.

[16] 周维, 张建辉. 金沙江支流冲沟侵蚀区四种土地利用方式下土壤入渗特性研究[J]. 土壤, 2006, 38(3): 333—337.

[17] 杨永辉, 赵世伟, 雷廷武, 等. 耕作对土壤入渗性能的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1624—1630.

[18] 李亚娟, 宋孝玉, 李怀有, 等. 甘肃西峰南小河流域土壤入渗分布规律研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2006, 34(12): 147—158.

[19] 张华. 影响大同地区土壤入渗能力的因素分析[J]. 人民黄河, 2007, 29(4): 49—53.

[20] 李毅, 邵明安. 人工草地覆盖条件下降雨入渗影响因素的实验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 18—23.

[21] 郭忠升, 吴钦孝, 任锁堂. 森林植被对土壤入渗速率的影响[J]. 陕西林业科技, 1996(3): 27—31.

[22] Edwards W M, Norton L D, Redmond C E. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled[J]. Soil Science Society of America Journal, 1989, 132: 233—239.

[23] Souzuzr Egipsy V, Ascaso C, Sancho L G. Water distribution within terricolous revealed by scanning electron microscopy and its relevance in soil crust ecology[J]. Mycological Research, 2002, 106(11): 1367—1374.