

秸秆不同还田方式对土壤结构及土壤蒸发特性的影响^{*}

王珍¹,冯浩^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院,陕西 杨凌 712100;2. 中国科学院水利部水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用团聚体分形维数、孔隙分形维数等指标,对比分析了秸秆在经过粉碎、氨化及与无机土壤改良剂混合 3 种措施处理后加入土壤对土壤团聚结构、土壤容重、孔隙度及低吸力段土壤水分蒸发特性的影响,结果表明:粉碎并氨化处理过的秸秆施入土壤后,能显著改善土壤团聚结构,减小土壤容重,增加土壤孔隙度;秸秆加入土壤中会导致处理低吸力段土壤孔隙分形维数变小,孔隙分布均匀性、连通性变差,导致土壤蒸发速率过快,而无机土壤改良剂(氢氧化铁)能有效改善土壤孔隙分布,抑制土壤蒸发,当其与秸秆混合施用,对雨水储蓄利用效果更好。

关键词: 秸秆粉碎;团聚体;分形维数;土壤蒸发

中图分类号: S156.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2009)06-0224-05

Study on the Influence of Different Straw returning Manners on Soil Structure and Characters of Soil Water Evaporation

WANG Zhen¹, FENG Hao^{1,2}

(1. College of Water Resource and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Based on the analysis of fractal dimension of soil aggregates and soil pore in low suction range, the influence of the wheat straw, comminuted, aminated or mingled with inorganic soil amendment, on the soil structure, soil bulk density, soil porosity and characters of soil water evaporation, after mixed with the soil was studied. Compared with control, the straw comminuted and aminated added into soil can observably improve the soil aggregate structure, reduce the soil density and increase the soil porosity; wheat straw added into soil can make fractal dimension of soil pore smaller than the control, and can make the uniformity and connectivity of soil pore worse, then the evaporation rate was increased. Inorganic soil amendment can amend the soil pore distribution and restrain the soil water evaporation. So it can benefit more for the usage of rain-water resource if the comminuted and aminated straw was used with inorganic soil amendment.

Key words: comminuted straw; soil aggregate; fractal dimension; soil water evaporation

近年来,国内外有关不同秸秆利用方式在改良土壤结构效果方面的研究较多。研究表明,新鲜秸秆加入土壤后能刺激微生物的活性,同时在分解过程中产生的多糖等代谢产物对土壤团聚体形成有重要作用,从而起到改良土壤结构,影响土壤水分特性的作用^[1-2]。Spaccini^[3]研究指出,秸秆施入土壤后较秸秆覆盖方式更能提高土壤结构的稳定性。Adesodun^[4]、Renate Sonnleitner^[5]、Kasteel^[6]研究指出,施入土壤中有机质的分解速度会影响到其对土壤改良的效果,低 C/N 的秸秆在粉碎后与土壤混合后施入土壤能迅速改良土壤结构。无机土壤结构改良剂如石膏等应用于土壤后,也可明显起到改良土壤结构的作用^[7]。现阶段如何使秸秆在改良土壤结构、提高水分利用效率方面发挥最大效益还有待继续研究;同时,秸秆和无机土壤结构改良剂共同施用对土壤结构的影响研究很少。在此基础上,本研究拟对秸秆进行粉碎、氨化处理,以达到增加土壤中秸秆与土壤的接触面积和降低秸秆 C/N 的目的,同时考虑秸秆与无机土壤改良剂共同施用时的作用效果。

土壤是具有自相似结构的多孔介质,具有一定的分形特征^[8-9]。从 20 世纪 80 年代起,分形理论应用于土壤结构、颗粒组成、孔隙和水分特征曲线的描述,使定量描述土壤结构特征的复杂性质成为可能^[10-11]。本研究拟通过室内模拟对比试验,运用分形理论研究经不同处理后的秸秆在施入土壤后对土壤结构以及土壤蒸发性

* 收稿日期:2009-08-21

基金项目:国家“863”计划项目(2006AA100204);新世纪优秀人才支持计划项目(01140602);高等学校学科创新引智计划

作者简介:王珍(1986-),男,河南洛阳人,在读硕士,主要研究方向为水土资源高效利用。E-mail:wangzhen-686@163.com

通讯作者:冯浩(1970-),男,研究员,主要从事水土资源高效利用方面研究。E-mail:nercwsj@vip.sina.com

状的影响。旨在提出一种能够充分发挥秸秆改良土壤结构与土壤水分性状的综合措施,进而为充分挖掘农田降水储蓄潜力,实现土壤水库的高效扩蓄增容。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤采自杨凌西北农林科技大学试验地 20 - 40 cm,质地为粉砂壤土的瘠土,风干后过 2 mm 筛备用,其机械组成见表 1。供试秸秆为上季小麦秸秆,收获后晾干储藏于室内,秸秆 C/N 为 94.727。供试无机土壤改良剂选用氢氧化铁(Ferric hydroxide)试剂,纯度 99%,呈块状。

1.2 试验设计

试验前先将秸秆粉碎至两个水平:粉末状和 2 cm 长,试验时粉末状秸秆过 1 mm 筛备用。本试验中秸秆氮化方法参考毛华明^[12]的方法,同时以水溶液形式向秸秆中加入占其干重

表 1 供试土壤粒级组成 %

砂粒	粉粒	黏粒
2 ~ 0.02 mm	0.02 ~ 0.002 mm	< 0.002 mm
25.820	61.126	13.054

1.33% 的尿素(控制加入后秸秆 C/N 为 25/1)、4% 的氢氧化钙(过量),溶液总质量为秸秆干重的 25%,以喷洒方式与秸秆混合均匀,随后装入密闭塑料袋放入人工气候箱中,控制温度为 40 ℃,48 h 后取出进行试验。

试验共分为 7 个处理,对照(CK),长秸秆处理(C),粉碎秸秆处理(F),氮化粉碎秸秆处理(NF),粉碎秸秆加无机土壤改良剂处理(FT),氮化粉碎秸秆加无机土壤改良剂处理(NFT),只加无机土壤改良剂处理(T)。各处理中秸秆均占总重的 0.5%,氢氧化铁占总重的 0.1%。其中 FT,NFT 处理,氢氧化铁与秸秆混合后再与土壤混合均匀。

各处理土壤在经相应方式混合后,按 1.25 g/cm³ 的容重,每 5 cm 为一层,分别分层填入内径 10 cm、高 35 cm 与内径 10 cm、高 12 cm 的大小两种 PVC 管中,管的底端用纱布封闭,其中前者装土高度为 30 cm,后者装土高度为 10 cm,各处理中大小土柱均设置 3 次重复。

1.3 测定项目与方法

装土结束后,土柱从底部进水浸湿至饱和状态,然后放入人工气候箱中,控制温度为 35 ℃,湿度控制为 70%。控制土柱含水量下限为 80% 的田间持水量(以 CK 处理田间持水量进行换算),如低于此含水量,将土柱做饱和处理,继续放入人工气候箱中培养,培养时间为 60 d。60 d 后用环刀从小土柱中取土,环刀样先用离心机法测定土壤水分特征曲线,实验完成后将环刀内土样烘干(105 ~ 110 ℃,24 h),计算土壤容重;对水分特征曲线拟合,计算毛管孔隙度和非毛管孔隙度^[13];土壤总孔隙度计算公式如下:总孔隙度 = (1 - 土壤容重/土壤比重) × 100%,土壤比重取值 2.65 g/cm³,土壤毛管孔隙度为田间持水量与萎蔫含水量的差值,非毛管孔隙度为总孔隙度与毛管孔隙度之间的差值。用干筛法测定各处理 > 10, 10 ~ 7, 7 ~ 5, 5 ~ 3, 3 ~ 2, 2 ~ 1, 1 ~ 0.5, 0.5 ~ 0.25 和 < 0.25 mm 的各粒级团聚体含量,用湿筛法测定各处理 > 5, 5 ~ 2, 2 ~ 1, 1 ~ 0.5, 0.5 ~ 0.25 和 < 0.25 mm 的各粒级水稳性团聚体含量,并据此计算平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)和团聚体分形维数(D)。土壤团聚体分形维数(D)计算采用杨培岭方法^[11]:

$$D = 3 - \frac{\lg(w_i/w_0)}{\lg(d_i/d_{\max})} \quad (1)$$

式中:D——土壤团聚体分形维数,通过拟合得到; w_i ——直径小于 d_i 的累积重量(g); w_0 ——总重量(g); d_i ——两相邻粒级 d_i 与 d_{i+1} 间土粒平均直径(mm); d_{\max} ——最大粒级土粒平均直径(mm)。

60d 时,大土柱从底部吸水进行饱和,然后将一支真空表式负压计埋入土中,陶土管中心位置距土表 12 cm。24 h 后将土柱重新放入人工气候箱中(温度 35 ℃,湿度(70 ± 2) %),土柱底端与气候箱接触紧密,防止水分从土柱底端散失。蒸发过程持续 13 d,每天 10:00,22:00 用称重法记录土柱重量,计算土壤含水量,同时观测记录张力计读数,并绘制各处理土壤在低吸力段的土壤水分特征曲线(从湿到干的脱水曲线),采用黄冠华等^[14]基于 Menger 海绵体结构推导出的水分特征曲线模型来计算低吸力段孔隙分维:

$$\frac{D_p}{s} = \left[\frac{D_p}{a} \right]^{D_p - 3} \quad (2)$$

式中: D_p ——分形特征的孔隙分形维数; $\frac{D_p}{s}$ ——的土壤含水率(%); s ——饱和含水率(%); $\frac{D_p}{a}$ ——介质的基质吸力(kPa); a ——进气吸力(kPa)。

1.4 数据处理与分析

试验中所有数据均为各重复测定的平均值,采用 Excel、SPSS15.0 对数据进行处理,利用 Duncan 新复极

差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 各处理土壤结构状况分析

2.1.1 各处理土壤团聚体分布状况 由表 2、表 3 可知,各处理较对照均能有效增加土壤大团聚体含量。干筛 > 10 mm 团聚体含量 NF, NFT 处理分别较 CK 增加 32.0% 和 32.8%, 与 CK 达到显著差异;除 F 处理外的其他处理 > 10 mm 团聚体含量较对照也有明显增加。湿筛 > 5 mm 团聚体含量 F, NF, FT 及 NFT 处理分别较 CK 增加 120.5, 107.5, 99.0, 90.5 倍, 与 CK 达到显著差异;C, T 处理也能增加土壤 > 5 mm 水稳性团聚体含量, 但与 CK 均没有达到显著差异。与其他处理相比, T 处理对土壤大团聚体含量的增加作用最小, 干筛 > 10 mm、湿筛 > 5 mm 团聚体含量与 CK 差异均不显著; T 处理中干筛 2~1 mm、湿筛 1~0.5 mm 粒径团聚体含量与其他处理均达到显著差异, 分别较对照增加 14.1%, 13.2%。由此可知, 粉碎、氨化两种处理措施均能使施入土壤中的秸秆对土壤团聚体的改善作用得以提高; 无机土壤改良剂单独作用对土壤团聚体的改善作用较秸秆为小, 当其与秸秆混合后施入时, 水稳性大团聚体含量较未混合前的秸秆处理为小, 未能对秸秆改良土壤团聚结构起到促进作用; 长秸秆加入土壤对土壤团聚结构影响较小, 其干、湿筛 > 0.25 mm 团聚体含量均较 CK 为少。

表 2 土壤团聚体(干筛)分布

处理	土壤团聚体粒径(mm)分布/ %								
	> 10	10~7	7~5	5~3	3~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	< 0.25
CK	45.6b	7.9ab	2.9a	7.9a	8.3ab	13.5ab	8.4a	3.3a	2.2ab
C	50.4ab	7.8ab	2.6a	7.4abc	7.5ab	11.9ab	7.4a	2.7a	2.5a
F	44.9b	10.5a	2.6a	7.6ab	8.9a	13.6ab	7.6a	2.6a	1.7bc
NF	60.2a	6.7b	2.5a	5.6bcd	5.6b	10.0ab	6.0a	2.1a	1.3c
FT	51.2ab	9.0ab	3.0a	6.5abcd	6.0ab	11.3ab	8.7a	2.5a	1.9bc
NFT	60.6a	6.5b	2.2a	5.5cd	5.3b	9.6b	6.5a	2.5a	1.4c
T	49.6ab	6.7b	2.3a	5.3d	7.2ab	15.4a	8.7a	3.0a	1.8bc

注: 同列有相同字母表示差异不显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.1.2 土壤团聚体评价指标分析

由表 4 可知, NF, NFT 处理干筛团聚体含量较其他处理高, 分别较对照增加 0.97%, 0.87%, 与对照差异显著, > 0.25 mm 水稳性团聚体含量则分别较对照增加 6.21%, 6.49%, 也与对照达到显著差异, F 处理也能增加土壤中 > 0.25 mm 团聚体含量, 但与对照差异不显著, 由此可知, 氨化后的秸秆在加入

表 3 土壤团聚体(湿筛)分布

处理	土壤团聚体粒径(mm)分布/ %					
	> 5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	< 0.25
CK	0.2b	6.2a	17.2a	30.2ab	17.1ab	29.1ab
C	5.8b	5.1a	13.0ab	27.2bc	18.3a	30.6a
F	24.3a	7.4a	11.4b	18.7d	10.9c	27.3ab
NF	21.7a	7.9a	13.6ab	19.6d	12.5c	24.7b
FT	20.0a	7.7a	12.6ab	20.5d	13.1c	26.1ab
NFT	18.3a	7.5a	14.3ab	23.0cd	12.4c	24.5b
T	2.1b	6.4a	16.0ab	34.2a	14.1bc	27.2ab

土壤后能迅速改善土壤结构, 增加土壤中大团聚体含量, 这与 Tejada (2008)^[15] 的研究结果一致, 都指出低 C/N 的有机质施入土壤后更能改善土壤结构; C 处理 > 0.25 mm 团聚体含量及 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量均较对照为少, 说明长秸秆加入土壤后在短期内对改善土壤结构作用甚微, 甚至会对原有土壤结构造成破坏; T 处理 > 0.25 mm 团聚体含量及 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量分别较对照高 0.45%, 2.48%, 但与对照差异不显著。各处理 MWD, GMD 指标呈现规律与各处理 > 0.25 mm 团聚体含量呈现规律基本一致, NF, NFT 处理 MWD, GMD 均较对照有显著增加, 说明两处理均能提高土壤团聚体稳定性及孔隙度。比较 F 与 FT, NF 与 NFT 处理干、湿筛 MWD, GMD 值可知, FT, NFT 处理 MWD, GMD 指标均较 F, NF 处理为低, 由此可以说明秸秆与无机土壤改良剂(氢氧化铁)共同作用时抑制了秸秆本身对土壤结构的改良, 这可能是因为无机土壤改良剂(氢氧化铁)与秸秆发生化学反应, 抑制了微生物的生长, 具体原因还有待继续研究。

土壤团聚体分形维数 (D) 反映了团聚体含量对土壤结构稳定性的影响趋势, 其值越小, 结构稳定性越好, 反之, 则越差。干筛条件下土壤团聚体分形维数 D_d 与 > 0.25 mm 团聚体含量成极显著相关 ($P < 0.05$), 与 MWD, GMD 呈显著相关 ($P < 0.01$), 相关系数分别为 - 0.85, - 0.83 及 - 0.75; 湿筛条件下土壤团聚体分形维数 D_w 与水稳性团聚体含量、MWD 和 GMD 均呈极显著相关 ($P < 0.01$), 相关系数分别为 - 0.97, - 0.86 及 - 0.91。结合上述土壤团聚体评价指标的分析可知, 团聚体分形维数随土壤结构稳定性的提高而减小。综合干、湿筛条件下土壤团聚体分形维数结果可知, NF 处理土壤团聚体稳定性最好, 粉碎并氨化的秸秆施入土壤

对土壤结构的改良作用最为明显。

表 4 土壤团聚体评价指标

处理	干筛				湿筛			
	>0.25mm/ %	MWD/ mm	GMD/ mm	D_d	>0.25mm/ %	MWD/ mm	GMD/ mm	D_d
CK	97.8bc	8.007cd	4.921c	2.222ab	70.9ab	0.812b	0.493b	2.720ab
C	97.5c	7.692d	4.878c	2.260a	69.4b	0.980b	0.507b	2.730a
F	98.3ab	9.574abc	6.098abc	2.151c	72.7ab	1.885a	0.830a	2.673bcd
NF	98.7a	10.540a	7.031a	2.164c	75.3a	1.812a	0.832a	2.644cd
FT	98.1ab	8.410bcd	5.338bc	2.192bc	73.9ab	1.714a	0.775a	2.653cd
NFT	98.6a	9.964ab	6.601ab	2.180bc	75.5a	1.660a	0.781a	2.640d
T	98.2ab	8.473bcd	5.023c	2.185bc	72.8ab	0.915b	0.538b	2.696abc

2.1.3 各处理土壤容重、孔隙度及其与土壤团聚体分形维数的关系分析 由表 5 可知,各处理在经过交替性膨胀、收缩、团聚、压实作用后,土壤容重都有所增加,其中 CK 增加最多,60 d 后较装土时增加 16.9%,而 NF 处理容重增加最少,仅增加了 3.9%,此时土壤容重较对照低 11.1%,由此可知,秸秆氮化后施入土壤能显著减小土壤容重,增加土壤总孔隙度,能有效提高土壤调节降雨和蓄水的能力;T 处理,也能明显减小土壤容重,改良土壤结构,但表 5 显示,NFT 处理土壤容重较 NF 处理为高,说明氮化秸秆和无机土壤改良剂(氢氧化铁)共同施用会抑制秸秆本身对土壤结构的改良作用,这可能是由于氮化秸秆与氢氧化铁发生化学反应造成的;C 处理在减小土壤容重,增加土壤孔隙度方面,作用最不显著。毛管孔隙度与土壤总孔隙度呈现规律一致,基本随土壤容重的增大而减小,说明土壤结构改良不仅能提高土壤蓄水能力,还可以提高土壤有效水含量。土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度与湿筛分形维数(D_w)的相关分析表明, D_w 与土壤容重成显著相关($P < 0.05$),与毛管孔隙度成极显著相关($P < 0.01$),这与赵勇钢等^[16]的研究结果一致,说明土壤团聚体分形维数能较好的描述土壤结构。

2.2 各处理土壤蒸发特性研究

2.2.1 各处理土壤累积蒸发量研究 在大气蒸发力比较固定的情况下,湿润土壤开始蒸发可分为三个阶段: 稳定蒸发阶段; 速率递减阶段; 扩散控制阶段^[17]。由图 1 可见,本试验所用土蒸发各个阶段分界并不明显,累积蒸发量与时间基本呈乘幂关系,即 $E_t = at^b$,通过累积蒸发量对时间求导可得各处理蒸发速率与时间的关系为 $E_t = a \cdot bt^{b-1}$ 。各处理拟合结果见表 6。由表 6 知,各处理 R^2 均大于 0.99,拟合精度很高。根据该幂函数性质可知,各个处理幂函数系数 $a \cdot b$ 大小基本上反映了各个处理蒸发速率之间的大小关系。比较各个处理回归函数的系数 $a \cdot b$ 值大小可以发现,各处理蒸发速率大小依次为 $F > NF > C > FT > CK > NFT > T$,这与图 1 中累积蒸发量呈现结果一致。由此可知,秸秆与土壤混合均匀施入土中时,土壤中孔隙含量的增加往往导致土壤蒸发能力的提升;同时,这也与土壤初始含水量有关,F,NF 等处理初始含水量显著高于 CK,也会导致各处理在蒸发各个时期蒸发速率高于对照。由表 6 可知,F,FT 处理土壤蒸发速率分别较 NF,NFT 处理为高,说明秸秆氮化有利于降低土壤蒸发,减少土壤有效水分的散失;NFT,T 处理土壤蒸发速率明显较 CK 为低,说明无机土壤改良剂能有效降低土壤无效蒸发,这也证明秸秆与无机土壤改良剂改良土壤结构的机理差异较大。

表 5 土壤物理性质及其与 D_w 相关关系

处理	容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	总孔隙度/ %	毛管孔隙 度/ %	非毛管孔 隙度/ %
CK	1.461a	44.874d	18.995c	25.879c
C	1.412ab	46.570cd	19.438bc	27.132bc
F	1.401ab	47.148cd	19.268bc	27.880abc
NF	1.299d	50.996a	21.516a	29.481ab
FT	1.381bc	47.899bc	20.734ab	27.165bc
NFT	1.316cd	50.331ab	21.580a	28.751ab
T	1.323cd	50.073ab	20.113abc	29.960a
与 D_w 相关性	0.72*	-0.72*	-0.85**	-0.5

注:同列有相同字母表示差异不显著($P < 0.05$); * 显著相关($P < 0.05$), ** 极显著相关($P < 0.01$)。

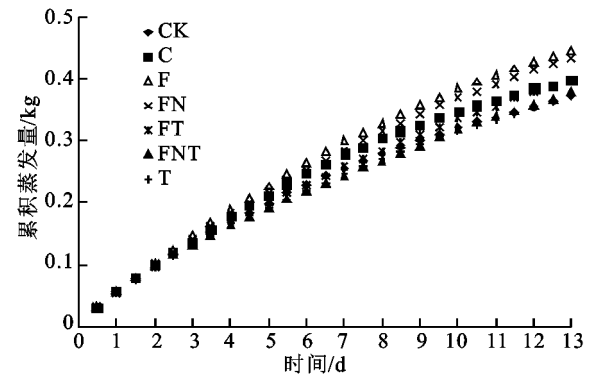


图 1 各处理累积蒸发量状况

表 6 累积蒸发量 E_t (kg) 与时间 t (d) 回归关系

处理	E_t 拟合参数		R^2	$a \cdot b$
	a	b		
CK	0.0577	0.7501	0.9970	0.0433
C	0.0567	0.7935	0.9958	0.0450
F	0.0579	0.8249	0.9974	0.0478
NF	0.0574	0.8114	0.9982	0.0466
FT	0.0567	0.7743	0.9986	0.0439
NFT	0.0574	0.7429	0.9995	0.0426
T	0.0548	0.7641	0.9983	0.0419

2.2.2 各处理低吸力段孔隙分形维数与土壤蒸发的关系 孔隙分形维数反映了孔隙的均匀性和连通性,其值越大,说明孔隙越均匀且连通性越好^[18]。由图 2 可知,FT,NFT,T 处理低吸力段土壤孔隙分形维数较其他处理为高,说明无机土壤改良剂(氢氧化铁)对土壤孔隙的改良作用较秸秆显著;F,NF 处理低吸力段土壤孔隙分形维数较对照为低,分析原因可能为秸秆加入土壤中显著增加了土壤大孔隙含量造成的;C 处理低吸力段土壤孔隙分形维数也较对照略低,可能是由于长秸秆阻断了土壤中毛管的生成,造成其孔隙连通性变差。

分析各处理低吸力段土壤孔隙分形维数 D_p 与土壤蒸发速率的关系可知, D_p 与能够表征土壤蒸发速率的拟合参数 $a \cdot b$ 基本呈线性关系 $y = -0.1085x + 0.3468$, $R^2 = 0.827$,由图 3 可知, D_p 与 $a \cdot b$ 呈极显著负相关 ($P < 0.01$),相关系数为 -0.91 ,即土壤低吸力段蒸发速率基本随低吸力段土壤孔隙分形维数变大而降低,说明土壤孔隙分布越均匀,连通性越好,土壤蒸发速率越低。

3 结论与讨论

(1) 不同粉碎程度及 C/N 的秸秆还田后对土壤结构影响差异显著。长秸秆加入土壤对土壤团聚结构影响较小,其干、湿筛 > 0.25 mm 团聚体含量均较 CK 为少,团聚体分形维数则较对照为大,总体来看长秸秆加入土壤后降低了土壤结构稳定度。粉碎、氨化两种处理措施均能使施入土壤中的秸秆对土壤团聚体的改善作用得以提高,本实验中粉碎并氨化处理过的秸秆加入土壤中使用 > 0.25 mm 水稳性团聚体较对照增加 6.2%,湿筛团聚体分形维数较对照降低 2.8%,各团聚体评价指标均与对照达到极显著差异。

(2) 无机土壤改良剂(氢氧化铁)单独作用对土壤团聚体的改善作用较对照差异不显著,同时其团聚体各项指标也均较单施粉碎秸秆为差;当其与秸秆混合后施入时,甚至会抑制秸秆改良土壤团聚结构的作用的发挥,可能是由于秸秆本身会和氢氧化铁反应造成的,有关秸秆与无机土壤改良剂共同施用对土壤结构的改良作用还有待继续研究。

(3) 各处理湿筛分形维数 D_w 与土壤容重呈显著正相关 ($P < 0.05$),与毛管孔隙度成极显著负相关 ($P < 0.01$),即土壤结构越稳定,土壤容重越小,土壤调节降雨和蓄水的能力越高,同时,土壤有效水含量也越高。经粉碎、氨化处理后的秸秆,在改善土壤团聚结构的同时,土壤容重显著减小,调蓄雨水能力及土壤水分有效性都得以提高,对于干旱半干旱地区雨水资源利用具有重要意义。

(4) 蒸发速率拟合参数显示,秸秆加入土壤后在改良土壤结构的同时,也加快了土壤蒸发速率;无机土壤改良剂却能有效降低土壤蒸发速率。分析土壤低吸力段孔隙分形维数可知,无机土壤改良剂加入土壤后,土壤低吸力段孔隙分布更加均匀,连通性更好。土壤低吸力段孔隙分形维数与表征土壤蒸发速率大小的参数 $a \cdot b$ 呈负相关关系,说明土壤孔隙分布越均匀,越能抑制土壤蒸发。有关土壤孔隙分形维数与土壤蒸发速率的研究目前还出现较少,有待进行继续研究。

综上所述,粉碎并氨化的秸秆在改善土壤团聚结构方面效果较好,但对土壤孔隙分布的影响却较无机土壤改良剂为差,当其与无机土壤改良剂共同施入土壤时,能克服其加入土壤后易造成土壤蒸发速率变快的缺点,对提高雨水利用效率更加有益,具体施用方式及施用比例还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 杨志臣,吕贻忠,张凤荣. 秸秆还田和腐熟有机肥对水稻土培肥效果对比分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 214-218.
- [2] Jose A P, Carlos G, Teresa H. Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality[J]. Bioresource Technology, 1999, 68: 255-264.
- [3] Spaccini R, Piccolo A, Haberhauer G, et al. Decomposition of maize straw in three European soils as revealed by DRIFT spectra of soil particle fractions[J]. Geoderma, 2001: 245-260.
- [4] Adesodun J K, Mbagwu J S C, Oti N. Structural stability and carbohydrate contents of an ultisol under different management systems[J]. Soil & Tillage Research, 2001, 60: 135-142.
- [5] Renate S, Eberhard L, Franz S. Effects of straw, vegetable oil and whey on physical and microbiological properties of a chernozem[J]. Applied Soil Ecology, 2003, 22: 195-204.
- [6] Kasteel R, Carnier P, Vachier P. Dye tracer infiltration in the plough layer after straw incorporation [J]. Geoderma, 2007, 137: 360-369.

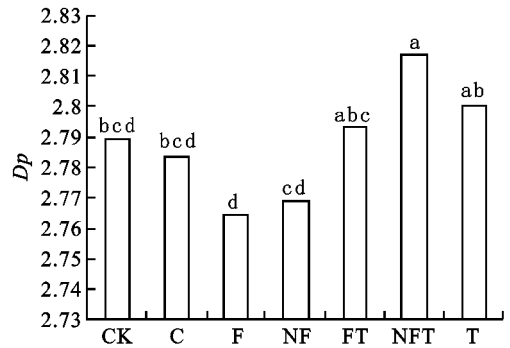


图 2 各处理低吸力段孔隙分形维数

设用地 > 耕地 > 林地 > 草地 > 水域。

(2) 玛纳斯河流域生态系统服务价值在 1976 年以来呈增加趋势,总价值增长了 29.28×10^8 元,其中耕地增长导致的食物生产功能增速最快,1997 年后林地、草地和水域生态价值高速增长,未利用地生态价值明显下降,表明在此期间流域生态环境状况有所好转,这与土地利用变化的效应是一致的。

(3) 本文只就玛纳斯河流域土地利用数量和结构变化对生态系统服务价值的影响进行了探讨,但土地质量变化同样影响生态系统服务价值,同时缺乏土地利用变化对生态系统服务价值空间差异的研究,这是本研究的不足之处,而应用谢高地等人提出的中国陆地生态系统生态服务价值系数为全国平均值,其在干旱区的适用性同样值得商榷,建立适用于干旱区的生态服务价值系数是需要进一步开展的工作。

参考文献:

- [1] Daily G C. Natures services :societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington D C: Island Press ,1997.
- [2] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济评价的初步研究[J]. 生态学报,1999,19(5):607-613.
- [3] 谢高地,张锦锂,鲁春霞,等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报,2001,16(1):47-53.
- [4] 赵同谦,欧阳志云,王效科,等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报,2003,18(4):443-452.
- [5] Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and land cover change science/ research plan HDP Report No. 07[R]. Stockholm: IGBP, 1995.
- [6] 杨光梅,李文华,闵庆文. 生态系统服务价值评估研究进展 - 国外学者观点[J]. 生态学报,2006,26(1):205-212.
- [7] King R T. Wildlife and man[J]. New York conservationist,1966,20(6):8-11.
- [8] Costanza R, d Arge R, Groot R, et al. The value of the worlds ecosystem services and natural capital[J]. Nature,1997,387:253-260.
- [9] Sutton P C, Constanza R. Global estimates of market and non - market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation[J]. Ecological Economies,2002,41:509-527.
- [10] Gren I M, Groth K H, Sylven M. Economic values of danube floodplains[J]. Journal of Environmental Management,1995,45:333-345.
- [11] 欧阳志云,王如松,赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报,1999,10(5):635-640.
- [12] 吴建国,常学向. 荒漠生态系统健康评价的探索[J]. 中国沙漠,2005,25(4):604-611.
- [13] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [14] 赵同谦,欧阳志云,王效科,等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报,2003,18(4):443-452.
- [15] 高旺盛,陈源泉,董孝斌. 黄土高原生态系统服务功能的重要性与恢复对策探讨[J]. 水土保持学报,2003,17(2):59-61.
- [16] 闵捷,高魏,李晓云,等. 武汉市土地利用与生态系统服务价值的时空变化分析[J]. 水土保持学报,2006,20(4):170-174.
- [17] 莫宏伟,任志远,谢红霞. 延安市城郊区土地利用动态与生态效应变化[J]. 水土保持学报,2004,18(4):130-133.
- [18] 王娟,崔保山,卢远,等. 生态系统服务价值在土地利用规划中的应用[J]. 水土保持学报,2006,20(1):160-164.
- [19] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1996.
- [20] 岳书平,张树文,闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理学报,2007,62(8):879-886.

责任编辑:李鸣雷 刘 英

上接第 228 页

- [7] 潘英华,雷廷武,张晴雯,等. 土壤结构改良剂对土壤水动力学参数的影响[J]. 农业工程学报,2003,19(4):37-39.
- [8] Perfect E, Kay B D. Fractal theory applied to soil aggregation[J]. Soil Sci. Soc. Am J.,1991,55:1552-1558.
- [9] 黄冠华,詹卫华. 土壤颗粒的分形特征及其应用[J]. 土壤学报,2002,39(4):490-497.
- [10] Bird N, Bartoli F. Water retention models for fractal soil structures[J]. Eur. J. Soil Sci.,1996,47:1-6.
- [11] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报,1993,38(20):1896-1899.
- [12] 毛华明,朱仁俊,冯仰廉. 饲喂复合化学处理大麦秸颗粒对泌乳牛生产性能的影响[J]. 云南农业大学学报,1999,14(2):167-170.
- [13] 刘娜娜,赵世伟,杨永辉,等. 云雾山封育草原对表土持水性的影响[J]. 草地学报,2006,14(4):338-342.
- [14] 王玉杰,王云琦,齐实,等. 重庆缙云山典型林地土壤分形特征对水分入渗影响[J]. 北京林业大学学报,2006,28(2):73-78.
- [15] Tejada M, Hernandez M T, Garcia C. Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties[J]. Soil & Tillage Research,2008,8:1-9.
- [16] 赵勇钢,赵世伟,华娟,等. 半干旱典型草原区封育草地土壤结构特征研究[J]. 草地学报,2009,17(1):107-112.
- [17] 邵明安,王全九,黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [18] 赵勇钢,赵世伟,曹丽花,等. 半干旱典型草原区退耕地土壤结构特征及其对入渗的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(6):14-20.

责任编辑:李鸣雷 刘 英