

秸秆不同还田方式对土壤低吸力段 持水能力及蒸发特性的影响*

王珍¹ 冯浩^{2†} 吴淑芳¹

(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 利用张力计测定蒸发过程中低吸力段土壤水分特征曲线,对比研究了秸秆在经过粉碎、氨化及与无机土壤改良剂混合三种措施处理后对土壤饱和含水量、低吸力段土壤持水及供水能力和早期干旱过程中土壤脱水速度的影响。结果显示:粉碎秸秆施入土壤后提高了土壤饱和含水量、持水及供水能力,而长秸秆对土壤饱和含水量、持水及供水能力的影响较小;粉碎并氨化的秸秆对土壤饱和含水量、持水及供水能力的提高作用更为显著。粉碎秸秆及长秸秆处理均易造成早期干旱过程中脱水速度过快,氨化后或当秸秆与无机土壤改良剂混合施入土壤时,土壤低吸力段脱水速度明显减慢,利于土壤有效水的保存。该结果为提出新的能最大效率发挥秸秆改良土壤作用的秸秆还田方式提供了一定的理论基础。

关键词 秸秆粉碎; 秸秆氨化; 氢氧化铁; 持水能力; 脱水速度

中图分类号 S152.7 文献标识码 A

土壤结构和土壤水分的关系密切。向土壤中添加有机质和土壤改良剂能够显著改良土壤结构,进而通过改良土壤水分特性,达到增加土壤水分有效库容的目的^[1-4]。

目前的秸秆还田以直接还田为主,还存在分解缓慢、容易诱发病虫害及与作物争氮等问题^[5]。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,秸秆均匀加入土壤较秸秆覆盖更能提高土壤结构的稳定性,在覆盖情况下甚至可能出现覆盖后土壤结构性能较对照(不施秸秆)下降的情况^[6];粉碎过的秸秆在加入土壤后较长秸秆能迅速改良土壤结构^[7-9];低C/N的秸秆(如苜蓿秆)较常规作物秸秆,更能提高土壤结构稳定性^[10-11]。虽然国内有关秸秆还田对土壤结构、土壤肥力的影响研究也较多,但大都是对秸秆直接覆盖还田后对土壤造成的影响进行研究,并没有提出既能解决目前秸秆还田中存在问题又能最大效率发挥秸秆改良土

壤作用的秸秆还田方式。

随着秸秆还田措施的推广,秸秆还田与其他土壤改良措施的交互作用也得到研究关注。据研究,高分子化合物PAM(polyacrylamide)与秸秆共同加入土壤后,秸秆对土壤微生物活性的刺激作用能够导致高分子化合物分解速率加快,两者不宜同时使用^[12]。无机土壤改良剂,主要是富含 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 和 Ca^{2+} 等高价金属离子,在土壤结构形成过程中主要作为土壤黏粒和有机质结合的桥梁,对土壤结构稳定性提高及土壤大团聚体的形成具有重要作用^[13];同时,部分研究表明三价金属的非晶质氧化物(如铁、铝的氢氧化物)对土壤的团聚作用远大于晶质氧化物及二价金属离子,氢氧化铁施入土壤能显著改良土壤结构,提高土壤入渗量^[14-16]。至今,有关秸秆与无机土壤改良剂共同施用对土壤结构的影响研究尚未有报道。

鉴于以上研究现状,笔者拟对秸秆进行粉碎、氨化处理,以达到增加土壤中秸秆与土壤的接触面

* 新世纪优秀人才支持计划项目(01140602)、国家863计划项目(2006AA100204)、高等学校学科创新引智计划(NO.111-2-16)联合资助、西北农林科技大学重大项目培育专项

† 通讯作者, E-mail: nerewsi@vip.sina.com

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

收稿日期:2009-06-26;收到修改稿日期:2009-12-12

积和降低秸秆 C/N 的目的;同时,向土壤中加入三价金属的氢氧化物(氢氧化铁),考虑秸秆与无机土壤改良剂共同施用时的效果。通过室内模拟对比试验,研究粉碎与氨化处理后的秸秆在施入土壤后对低吸力段土壤持水能力及土壤蒸发特性的影响,以及秸秆与无机土壤改良剂共同施用时对土壤水分特性的影响。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,为充分挖掘农田降水保蓄潜力,实现土壤水库的高效扩蓄增容提供理论依据。

表 1 土壤基本性状

Table 1 Soil properties of the studied soil

土壤类型 Soil type	粒级组成 Particle-sized fractions (%)			质地 Soil texture	有机碳 Organic C (g kg ⁻¹)
	砂粒 Sand (2~0.02 mm)	粉粒 Silt (0.02~0.002 mm)	黏粒 Clay (<0.002 mm)		
垆土 Lou soil	25.82	61.13	13.05	粉砂壤土 Silt loam	13.15

1.2 试验设计

试验前先将秸秆粉碎至粉末状和 2 cm 长两个水平,试验时粉末状秸秆过 1 mm 筛备用。秸秆氨化常用于秸秆类饲料的加工储藏上。利用液氨、尿素、碳氨作氨源氨化后的秸秆,秸秆木质素彻底变性,酸性洗涤剂、半纤维素和木质素含量也随之下降,粗蛋白含量大幅提高^[17]。本试验中秸秆氨化方法参考毛华明等^[17]的方法,同时以水溶液形式向秸秆中加入占其干重 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 后取出后进行试验。

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),氨化粉碎秸秆处理(NF),粉碎秸秆加无机土壤改良剂处理(FT),氨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 cm⁻³ 的容重,每 5 cm 为一层,分层填入内径 10 cm、高 35 cm 的 PVC 管中,管的底端用纱布封闭,装土高度为 30 cm,各处理设 3 个重复。

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 ℃,控

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤取自杨凌西北农林科技大学试验地 20~40 cm 垆土,风干后过 2 mm 筛备用。供试土壤基本性质见表 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 94.73。供试无机土壤改良剂为氢氧化铁(Fe(OH)₃)试剂,纯度 99%,呈块状。

制相对湿度为 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 30 d。30 d 时,测定土柱内装土高度变化,并利用该值计算各重复土壤平均容重。然后将土柱从底部吸水进行饱和,待重力水从底部渗出后(24 h)将土柱重新放入人工气候箱中(温度 35 ℃,相对湿度 70%)进行蒸发,土柱底端与气候箱接触紧密,防止水分从土柱底端散失。每天 10 时正、22 时正用称重法记录土柱重量,计算土壤平均含水量。同时,在每个土柱圆心位置埋入一支真空表式负压计(陶土管中心位置距土表 12 cm),每天称重的同时观测记录张力计读数,根据其平均含水量的对应关系,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)。

1.4 数据处理

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。

2 结果与分析

2.1 秸秆处理对土壤容重及饱和含水量的影响

由表 2 可知,各处理在经过交替性膨胀、收缩、团聚、压实作用后,土壤容重均有所增加,土壤饱和含水量基本随土壤容重的增大而减小。其中,CK 处理容重增加最多,饱和含水量也较其他处理为

低; F 处理较 C 处理土壤容重为低, 土壤饱和含水量为高; NF 处理容重最小, 较对照低 4.63%, 土壤饱和含水量较对照高 13.3%。由此可知, 秸秆粉碎处理后加入土壤较未粉碎秸秆能有效降低土壤容重、提高土壤饱和持水量, 这与前人研究结果一致^[7-9]。秸秆经粉碎并氨化后加入土壤, 对土壤改良作用效果更好, 这可能是因为粉碎、氨化两种措施均有助于加快秸秆的分解速度, 进而刺激了土壤微生物的活性, 其分泌产物对土壤团聚体的形成具有促进作用, 进而提高了土壤结构的稳定性^[18]; 此外, 经氨化变性的秸秆本身可能具有更多的亲水成分, 导致 NF 处理饱和含水量较对照及其他处理有较大幅度提高。由表 2 还可看出, T 处理也能明显改良土壤结构, 但 FT、NFT 处理土壤改良效果均较 T 处理为差, 且 FT、NFT 处理土壤改良效果分别较 F、NF 处理为差, 由此可知无机土壤改良剂(氢氧化铁)与秸秆共同施入土壤中时, 会抑制秸秆和无机土壤改良剂各自对土壤的改良效果, 其原因有待进一步研究。

表 2 各处理土壤容重及饱和含水量

Table 2 Soil bulk density and saturated water content under various treatments

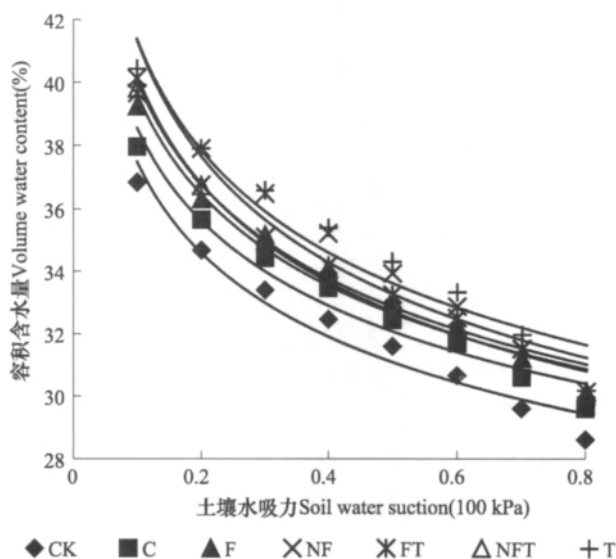
处理 Treatments	土壤容重 Soil bulk density (g cm^{-3})	饱和含水量 Saturated water content (%)
对照 ^①	1.361a	48.8d
长秸秆 ^②	1.348ab	49.9cd
粉碎秸秆 ^③	1.336bc	51.2c
氨化粉碎秸秆 ^④	1.298e	55.3a
加铁粉碎秸秆 ^⑤	1.331c	50.1cd
加铁氨化粉碎秸秆 ^⑥	1.317d	53.3b
氢氧化铁 ^⑦	1.309de	54.4ab

注: 表中含水量(%)均为容积含水量; 同列有相同字母表示差异不显著($p < 0.05$)。Note: The water content in the column(%) means the volume water content of the soil. The same letters affixed to the data in the same column mean insignificant difference at $p < 0.05$. ①Control; ②Long cut straws; ③Finely cut straws; ④Finely cut and aminated straws; ⑤Finely cut straws blended with $\text{Fe}(\text{OH})_3$; ⑥Aminated finely cut straws blended with $\text{Fe}(\text{OH})_3$; ⑦ $\text{Fe}(\text{OH})_3$

2.2 秸秆处理对土壤低吸力段持水能力的影响

由各处理不同土壤水吸力下土壤含水量变化情况(图 1)可知, NF、T 处理土壤持水能力较对照提高最为显著, 在 10 kPa 时分别较对照高 8.9%、9.7%, 在 50 kPa 时分别较对照高 7.4%、8.6%。其

他处理较对照也能有效提高土壤持水能力, 但粉碎秸秆在低吸力段对土壤持水能力的提高作用明显高于长秸秆; 当秸秆与土壤无机改良剂共同施用时, 表现结果与各处理土壤饱和含水量结果相似, 两者混合施用并未产生积极的交互作用。



CK: 对照, Control; C: 长秸秆, Long cut straws; F: 粉碎秸秆, Finely cut straws; NF: 氨化粉碎秸秆, Finely cut and aminated straws; FT: 加铁粉碎秸秆, Finely cut straws blended with $\text{Fe}(\text{OH})_3$; NFT: 加铁氨化粉碎秸秆, Aminated finely cut straws blended with $\text{Fe}(\text{OH})_3$; T: 氢氧化铁, $\text{Fe}(\text{OH})_3$

图 1 Gardner 模型拟合的各处理土壤水分特征曲线
Fig. 1 Soil water retention curve simulated with Gardner model for different treatments

由 Gardner 提出的经验方程 $\theta = AS^{-B}$ (式中 θ 为土柱容积含水量, %; S 为土壤水吸力, kPa; A 、 B 为参数) 对试验中各处理土壤水分特征曲线进行拟合^[19], 拟合曲线及参数分别见图 1 和表 3。由表 3 中 R^2 值可知, Gardner 模型可以较好地拟合本实验中各处理的土壤水分特征曲线测定结果。方程中的参数 A 决定了曲线的高低, 亦即持水能力大小, A 值越大, 持水能力越强; 参数 B 决定曲线的走向, 即土壤含水量随土壤水势降低而递减的快慢。由图 1 及表 3 可知, 各处理土壤持水能力 $T > NF > FT > F > NFT > C > CK$, 由此可知无机土壤改良剂较秸秆更能提高土壤持水能力, 但当氨化秸秆与其混合施用时, 土壤持水能力却提高较少, 可能与无机土壤改良剂(氢氧化铁)与氨化变性后的秸秆发生化学反应有关。同时由图 1 可以看出, T 处理和 NF 处理较其他处理对土壤持水能力的提高作用最为显著; F、FT、NFT 处理之间土壤持水能力差异不大; 长秸

秆施入土壤后对土壤持水能力的提高作用明显较粉碎、氨化处理后的秸秆为低。

表 3 土壤水分特征曲线拟合参数

Table 3 Parameters of simulated soil water content curves

处理 Treatments	A	B	R ²
对照 ^①	0.286 8	0.116 4	0.959 4
长秸秆 ^②	0.296 3	0.114 3	0.964 3
粉碎秸秆 ^③	0.300 5	0.120 0	0.976 5
氨化粉碎秸秆 ^④	0.303 1	0.134 9	0.922 2
加铁粉碎秸秆 ^⑤	0.301 8	0.122 7	0.974 6
加铁氨化粉碎秸秆 ^⑥	0.299 3	0.128 1	0.979 1
氢氧化铁 ^⑦	0.307 4	0.129 1	0.930 1

注:表中各处理标注内容同表 2 Note: The labels have the same meaning as Table 2

2.3 秸秆处理对土壤低吸力段供水能力的影响

土壤的供水能力是指在一定条件下土壤对植物生理需水的供给能力,常用比水容量进行衡量,

表 4 各处理不同土壤水吸力状态下比水容量

Table 4 Specific water capacity of the soil in different treatments and suction conditions ((100 kPa)⁻¹)

处理 Treatments	土壤水吸力 Soil water suction (100 kPa)							
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
对照 ^①	4.36×10^{-1}	2.01×10^{-1}	1.28×10^{-1}	9.29×10^{-2}	7.24×10^{-2}	5.90×10^{-2}	4.97×10^{-2}	4.28×10^{-2}
长秸秆 ^②	4.41×10^{-1}	2.04×10^{-1}	1.30×10^{-1}	9.40×10^{-2}	7.33×10^{-2}	5.98×10^{-2}	5.04×10^{-2}	4.34×10^{-2}
粉碎秸秆 ^③	4.75×10^{-1}	2.19×10^{-1}	1.39×10^{-1}	1.01×10^{-1}	7.84×10^{-2}	6.39×10^{-2}	5.38×10^{-2}	4.63×10^{-2}
氨化粉碎秸秆 ^④	5.58×10^{-1}	2.54×10^{-1}	1.60×10^{-1}	1.16×10^{-1}	8.98×10^{-2}	7.30×10^{-2}	6.13×10^{-2}	5.27×10^{-2}
加铁粉碎秸秆 ^⑤	4.91×10^{-1}	2.26×10^{-1}	1.43×10^{-1}	1.04×10^{-1}	8.06×10^{-2}	6.57×10^{-2}	5.53×10^{-2}	4.76×10^{-2}
加铁氨化粉碎秸秆 ^⑥	5.15×10^{-1}	2.36×10^{-1}	1.49×10^{-1}	1.08×10^{-1}	8.38×10^{-2}	6.82×10^{-2}	5.73×10^{-2}	4.93×10^{-2}
氢氧化铁 ^⑦	5.34×10^{-1}	2.44×10^{-1}	1.55×10^{-1}	1.12×10^{-1}	8.68×10^{-2}	7.07×10^{-2}	5.94×10^{-2}	5.11×10^{-2}

注:表中各处理标注内容同表 2 Note: The labels have the same meaning as Table 2

2.4 秸秆处理对土壤干旱早期脱水速度的影响

本研究蒸发试验环境温、湿度恒定,且均较室外环境为高,蒸发强度大于自然条件下的蒸发强度,为表述方便,可将每 12 h 的记录数据按照 1 d 的蒸发量进行计算。大量研究表明,土壤有效水范围内的水分并非同等有效,土壤水吸力从 10 kPa 增至 80 kPa 所消耗水分的运动性很强,对植物最有效^[22]。Richards 和 Taylor 就指出,当土壤水吸力从 10 kPa 增至 30 kPa 时,壤土有效水的 15% 将被耗尽;当继续增至 80 kPa 时,壤土有效水耗竭的百分比变为 50%^[23],而本实验所用土壤即为粉砂壤土,可假定各处理土壤水吸力从 10 kPa 增至 80 kPa 时 50% 的有效水含量被消耗。可以利用低吸力段土壤

它也是评价土壤耐旱性的重要指标^[20]。比水容量 C_θ 是土壤含水量 θ 对基模势 ψ 的导数。由回归方程 $\theta = AS^{-B}$ 求导得出, $C_\theta = d\theta/d\psi = -d\theta/dS = ABS^{-(B+1)}$ 。式中 S 为土壤水吸力, $S = -\psi$ 。一般认为,比水容量达到 10^{-2} 数量级时土壤水分已处于或相当于毛管联系断裂含水量(BCM),土壤的供水能力就难以满足作物生长的需要^[21];土壤比水容量达到 1.0×10^{-2} 数量级的吸力值越大,土壤耐旱性越好。由各处理不同土壤水吸力状态下比水容量(表 4)可知,在低吸力段由于比水容量的差异,各处理取得的水量是不相等的,CK、C 处理在 40 kPa 时比水容量出现 10^{-2} 数量级,而其他处理均在 50 kPa 时出现 10^{-2} 数量级,由此可知粉碎后的秸秆及无机土壤改良剂在施入土壤后均能有效提高土壤供水能力,增强土壤耐旱性。由表 4 还可看出,NF 处理在各个吸力状态下比水容量均为最大值,由此可知粉碎并氨化后的秸秆加入土壤后对土壤低吸力段供水能力的提高作用最为显著。

水分特征曲线,反映各处理土壤从湿润到早期干旱过程中因蒸发引起的土壤水分能量变化过程。各处理土壤水吸力随时间变化情况见图 2。

从不同处理土壤水吸力从 10 kPa 增至 80 kPa 耗时情况(表 5)知,各处理消耗 50% 的有效水含量,NFT、T 处理耗时最长为 22 d,较对照增加 6 d;FT 处理脱水速度也显著减慢。由此可知,无机土壤改良剂(氢氧化铁)加入土壤后能够有效减缓土壤有效水分的蒸发,提高土壤耐旱能力;C、F 处理消耗 50% 的有效水耗时均为 14 d。根据各处理土壤饱和含水量分析可知,C、F 处理饱和含水量均较 CK 为高。因此,向土壤中加入秸秆后容易导致在低吸力段土壤脱水速度变快,不利于作物对低吸力段土壤

水分的利用。NF 处理土壤水吸力由 10 kPa 增至 80 kPa 耗时 18 d, 可知秸秆氮化后可以在一定程度上解决普通秸秆加入土壤后使土壤水吸力在低吸力段上升过快的问题。由各处理土壤水吸力从 10 kPa 增至湿度相当于 BCM 时的土壤水吸力耗时情况(表 5) 可以看出, 在本试验条件下, CK 处理在 8 d 后, 土壤供水能力即出现不足, 旱象开始出现; NFT 处理土壤含水量在 14 d 时达到 BCM 值。显然, 无机土壤改良剂加入土壤后能显著减缓土壤上层易效水的蒸发; 粉碎的秸秆对抑制土壤易效水的蒸发也有积极作用, 粉碎并氮化后的秸秆较仅粉碎过的秸秆效果更好; 长秸秆处理加入土壤则加快了上层土壤易效水的散失, 较对照更快出现干旱迹象。

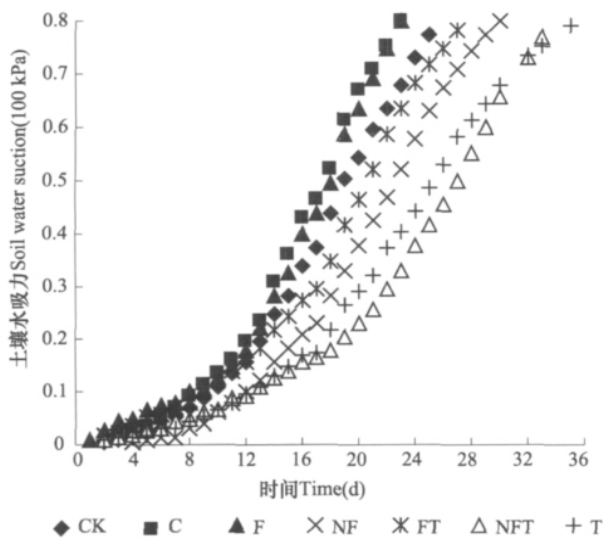


图 2 各处理土壤水吸力随时间变化情况

Fig. 2 Variation of soil suction with the time in different treatments to Fig. 1

注: 图例含义同图 1 Note: The meaning of the legends is the same

从图 2 可以看出, 在 0 ~ 30 kPa 内, 土壤水吸力上升速度较慢, 但在 30 ~ 80 kPa 内, 土壤水吸力随时间的变化几乎呈直线关系, 这与庄季屏^[24] 研究结果一致。对各处理 30 ~ 80 kPa 时的土壤水吸力日变化过程进行线性拟合, 拟合结果见图 3 及表 6。由图 3、表 6 可知, 各处理 30 ~ 80 kPa 土壤水吸力日变化过程线性关系拟合良好。拟合参数 k 呈现规律与前面分析一致。T 处理斜率较对对照明显为小, 在降低土壤在易效水吸力范围内土壤水分的蒸发方面作用最为显著, 粉碎并氮化的秸秆也能明显降低土壤 30 ~ 80 kPa 吸力段的脱水速率。

表 5 各处理土壤水吸力变化进程

Table 5 Variation of soil suction in different treatments

处理 Treatments	从 10 kPa 至 80 kPa 耗时 ^⑧ (d)	从 10 kPa 至湿度相当于 BCM 时土壤水吸力耗时 ^⑨ (d)
对照 ^①	16	8
长秸秆 ^②	14	7
粉碎秸秆 ^③	14	10
氮化粉碎秸秆 ^④	18	11
加铁粉碎秸秆 ^⑤	19	12
加铁氮化粉碎秸秆 ^⑥	22	14
氢氧化铁 ^⑦	22	13

注: 表中各处理名字标注内容同表 2 Note: The labels affixed to the name of the treatments have the same meaning as Table 2. ^⑧The time needed for the soil water suction to develop from 10 kPa to 80 kPa; ^⑨The time needed for the soil water suction to develop from 10 kPa to the value when the soil water content equals to the BCM

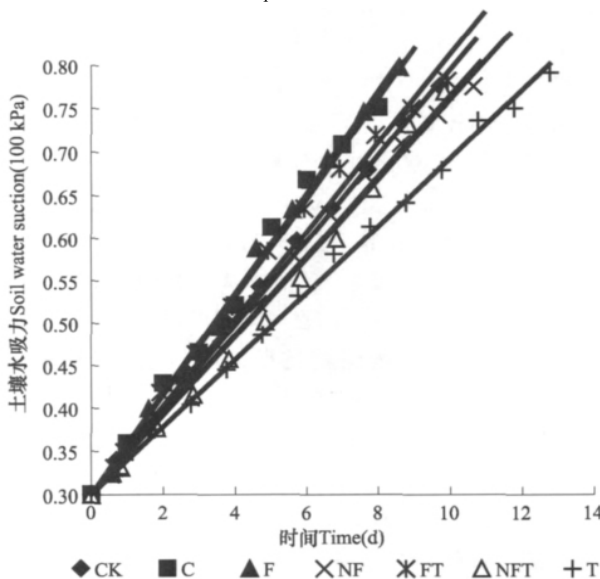


图 3 各处理 30 ~ 80 kPa 土壤水吸力变化日进程

Fig. 3 Daily variation of soil suction from 30 kPa to 80 kPa in different treatments

注: 图例含义同图 1 Note: The meaning of the legends is the same to Fig. 1

表 6 各处理 30 ~ 80 kPa 土壤水吸力变化日进程线性模拟

Table 6 Linear simulation of daily variation of soil suction from 30 ~ 80 kPa in different treatments

处理 Treatments	k	R^2
对照 ^①	0.049 6	0.996 1
长秸秆 ^②	0.057 8	0.992 9
粉碎秸秆 ^③	0.058 8	0.996 3
氮化粉碎秸秆 ^④	0.046 1	0.991 6
加铁粉碎秸秆 ^⑤	0.051 4	0.982 0
加铁氮化粉碎秸秆 ^⑥	0.046 6	0.991 1
氢氧化铁 ^⑦	0.039 3	0.997 3

注: 表中各处理标注内容同表 2 Note: The labels have the same meaning as Table 2

3 结论与讨论

秸秆粉碎处理后加入土壤较未粉碎秸秆更能改良土壤结构,降低土壤容重,提高土壤持水、供水能力,但在土壤水吸力低吸力段(10~80 kPa),其脱水速度却与加入长秸秆处理无明显差异,均较对照要快,这可能是由于在土壤蒸发过程中秸秆本身也可以作为土壤中水分流通的通道,从而加快了土壤水吸力随蒸发而上升的速度。秸秆经粉碎并氨化处理加入土壤后,较其他处理能显著降低土壤容重、提高土壤饱和含水量和土壤供水能力;其对土壤持水能力的提升作用较粉碎秸秆为大,低吸力段土壤脱水速度较未氨化秸秆处理及对照处理要低,土壤耐旱性能得到明显提升。无机土壤改良剂(氢氧化铁)在加入土壤后能显著改良土壤结构,提高土壤持水、供水能力,其对干旱早期土壤脱水速度的降低作用较其他处理明显为大,但当其与秸秆共同作用时,在改良土壤水分特性方面并没有达到相互促进的作用。

常规情况下经秸秆还田机埋入上层土壤的大段秸秆,对土壤饱和含水量、持水、供水能力提高不大,反而会造成长期土壤在早期干旱过程中脱水速度过快,不利于土壤保蓄抗旱;秸秆经粉碎并氨化后加入土壤则能有效改良土壤结构,提高土壤饱和含水量、持水及供水能力,且能降低低吸力段土壤脱水速度,有利于土壤易效水的保存,提高土壤抗旱能力,这对干旱半干旱地区雨水利用效率的提高具有重要意义。土壤无机改良剂(氢氧化铁)加入土壤后对土壤低吸力段脱水速度的降低十分显著,但与其与秸秆共同施用对土壤各方面性质的影响还有待继续研究,且能够更充分发挥氨化秸秆和无机土壤改良剂改良土壤作用的配合及施用方法有待继续研究。

本研究假定距土表 12 cm 处土壤含水量与土柱土壤平均含水量近似相等,故此测定结果存在些许误差。今后的研究中,应当考虑含水量和土壤水基质势同时、同位置测定。

参考文献

[1] 杨志臣,吕贻忠,张凤荣,等. 秸秆还田和腐熟有机肥对水稻土培肥效果对比分析. 农业工程学报, 2008, 24(3): 214—218. Yang Z C, Lü Y Z, Zhang F R, et al. Comparative analysis of the effects of straw-returning and decomposed manure on paddy soil fertility betterment (In Chinese). Transactions of

the CSAE, 2008, 24(3): 214—218

- [2] Pascual J A, Garcia C, Hernandez T. Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality. *Bioresource Technology*, 1999, 68: 255—264
- [3] 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. 农业工程学报, 2003, 19(4): 37—39. Pan Y H, Lei T W, Zhang Q W, et al. Effects of polyacrylamide on soil hydrodynamic parameters (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2003, 19(4): 37—39
- [4] 冯浩,吴淑芳,吴普特. 高分子聚合物对土壤物理及坡面产流产沙特征的影响. 中国水土保持科学, 2006, 4(1): 15—19. Feng H, Wu S F, Wu P T. Effect of macromolecule polymers on soil physical characteristics and runoff and sediment generation on slopeland (In Chinese). *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(1): 15—19
- [5] 李伟,蔺树生,谭豫之,等. 作物秸秆综合利用的创新技术. 农业工程学报, 2000, 16(1): 14—17. Li W, Lin S S, Tan Y Z, et al. Innovated techniques on comprehensive utilization of crop straw (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2000, 16(1): 14—17
- [6] Spaccini R, Piccolo A, Haberer G, et al. Decomposition of maize straw in three European soils as revealed by DRIFT spectra of soil particle fractions. *Geoderma*, 2001, 99(3/4): 245—260
- [7] Kasteel R, Garnier P, Vachier P, et al. Dye tracer infiltration in the plough layer after straw incorporation. *Geoderma*, 2007, 137: 360—369
- [8] Cabiles D M S, Angeles O R, Johnson S E, et al. Faster residue decomposition of brittle stem rice mutant due to finer breakage during threshing. *Soil & Tillage Research*, 2008, 98: 211—216
- [9] Tarafdar J C, Meena S C, Kathju S. Influence of straw size on activity and biomass of soil microorganisms during decomposition. *Soil Biol*, 2001, 37: 157—160
- [10] Adesodun J K, Mbagwu J S, Oti N. Structural stability and carbohydrate contents of an ultisol under different management systems. *Soil & Tillage Research*, 2001, 60: 135—142
- [11] Tejada M, Hernandez M T, Garcia C. Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties. *Soil & Tillage Research*, 2009, 102(1): 109—117
- [12] Caesar-TonThat T C, Busscher W J, Novak J M, et al. Effects of polyacrylamide and organic matter on microbes associated to soil aggregation of Norfolk loamy sand. *Applied Soil Ecology*, 2008, 40: 240—249
- [13] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 2005, 124(1/2): 3—22
- [14] 谭文峰,周素珍,刘凡. 土壤中铝氧化物与黏土矿物相互作用的研究进展. 土壤, 2007, 39(5): 726—730. Tan W F, Zhou S Z, Liu F. Advancement in the study on interactions between iron-aluminum (hydro-) oxides and clay minerals in soil (In Chinese). *Soils*, 2007, 39(5): 726—730
- [15] Rhoton F E, Rönkens M J M, Bigham J M, et al. Ferrihydrite influence on infiltration, runoff, and soil loss. *Soil Sci Soc Am J*, 2003, 67: 1 220—1 226
- [16] Buondonno A. Modeling soil ped formation: Properties of aggre-

- gates formed by montmorillonitic clay, Al or Fe poorly-ordered oxides and polyphenol in acidic milieu. *Studies in Surface Science and Catalysis*, 2001, 140: 87—101
- [17] 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. *云南农业大学学报*, 1999, 14 (2): 167—170. Mao H M, Zhu R J, Feng Y L. Effects on the performances of holstein cows fed pelleted barley straw treated with urea and calcium hydroxide (In Chinese). *Journal of Yunnan Agricultural University*, 1999, 14 (2): 167—170
- [18] Oyedele D J, Schjønning P, Sibbesen E, et al. Aggregation and organic matter fractions of three Nigerian soils as affected by soil disturbance and incorporation of plant material. *Soil & Tillage Research*, 1999, 50 (2): 105—114
- [19] 姚贤良, 程云生. 土壤物理学. 北京: 农业出版社, 1986. Yao X L, Cheng Y S. *Soil physics* (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986
- [20] 刘创民, 李昌哲, 史敏华, 等. 多元统计分析在森林土壤肥力类型分辨中的应用. *生态学报*, 1996, 16 (4): 444—447. Liu C M, Li C Z, Shi M H, et al. Multivariate statistical analysis techniques applied in differentiation of soil fertility (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16 (4): 444—447
- [21] 柳云龙, 吕军, 王人潮. 低丘红壤作物易旱与土壤持水供水特性的关系. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2002, 28 (1): 42—46. Liu Y L, Lv J, Wang R C. Research on relationship between crop drought and soil water retention and supply characters in hilly red clayey soil (In Chinese). *Journal of Zhejiang Agricultural University: Agric & Life Sci Edition*, 2002, 28 (1): 42—46
- [22] 朱祖祥. 土壤水分的能量概念及其意义. *土壤学进展*, 1979, 1: 1—18. Zhu Z X. The conception and meaning of soil water energy (In Chinese). *Progress in Soil Science*, 1979, 1: 1—18
- [23] 汉克斯 R J, 等. 应用土壤物理学. 杨诗秀译. 北京: 水利电力出版社, 1984. Hanks R J. *Applied soil physics* (In Chinese). Yang S X. trans. Beijing: China Water Power Press, 1984
- [24] 庄季屏, 王伟. 土壤低吸力段持水性能及其与早期土壤干旱的关系研究. *土壤学报*, 1986, 23 (4): 306—313. Zhuang J P, Wang Z. Studies on the relationship between soil water retention characters in low suction range and the early stage of soil drought (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1986, 23 (4): 306—313

EFFECT OF DIFFERENT STRAW-INCORPORATION METHODS ON SOIL WATER RETENTION CAPACITY AND EVAPORATION

Wang Zhen¹ Feng Hao^{2†} Wu Shufang¹

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

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

Abstract Soil water retention curves in low suction range during the evaporation process were determined by use of tensiometers to study the effects of three straw treating manners (i. e. cut, aminated or mixed with inorganic soil amendment) on saturated soil water content, soil water retention and supply capacities as well as the soil dehydration rate in the early stage of drought process. Results show that incorporation of finely cut straws into soil enhanced saturated soil water content, improving soil water retention and supply capacities, and the finely cut and aminated straws were more effective than the long cut straws. The dehydration rate of the soil in the early stage of drought in low suction range increased when the straws (both finely cut or long cut) were applied in soil, while decreased with the aminated straws or straws mixed with inorganic soil amendment, and more soil available water conserved. The results provide useful information for more efficient straw-incorporation method to improve the soil water retention capacity.

Key words Finely cut straw; Aminated straw; Ferric hydroxide; Soil water retention capacity; Dehydration speed