

长期秸秆还田对土壤理化特性及微生物数量的影响

杨 钊¹, 尚建明², 陈玉梁¹

(1. 甘肃省农业科学院黄羊麦类作物育种试验站, 甘肃 武威 733000; 2. 甘肃酒泉大业种业有限责任公司, 甘肃 酒泉 735000)

摘要: 在陇东黄土高原较为贫瘠的土壤依托定位试验, 研究不同秸秆还田年限对土壤理化特性及微生物的影响。结果表明, 秸秆还田能够显著提升土壤的贮水能力, 降低土壤容重及增加土壤孔隙度, 改善土壤的结构, 同时还能增加土壤有机碳的含量, 对较深耕层土壤有良好的改良效果。秸秆还田能增加0~30 cm耕层土壤的微生物数量, 且随着还田年限的增加, 显著改善土壤微生物群落结构。

关键词: 秸秆还田; 玉米; 土壤; 理化性状; 微生物数量

中图分类号: S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2019)01-0013-08

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2019.01.005

Effects of Long-term Straw Return on Soil Physical and Chemical Characteristics and Microbial Quantity

YANG Zhao¹, SHANG Jianming², CHEN Yuliang¹

(1. Huangyang Wheat Breeding Experimental Station, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Wuwei Gansu 733000, China; 2. Gansu Jiuquan Daye Seed Industry CO., LTD., Jiuquan Gansu 735000, China)

Abstract: The effects of different straw returning years on soil physical and chemical properties and microorganism were studied in the lean soil of the loess plateau in East Gansu. The results showed that straw returning can significantly improve soil water storage capacity, decrease soil bulk density, increase soil porosity, improve soil structure, and increase soil organic carbon content, which has a good effect on deep surface soil. Straw returning can increase the microbial population of surface soil by 0~30 cm, and significantly improve the microbial community structure in soil with the increase of the years of returning.

Key words: Straw returning to field; Corn; Soil; Physical and chemical properties; Microbial quantity

我国部分地区由于受到资金、技术和地理环境等条件的困扰, 长期以来对作物秸秆没有形成专业化、产业化的处理模式而使其充分利用。秸秆还田后, 在土壤微生物及土壤中的微小动物等的活动作用下分解并释放大量的矿质养分, 提高土壤有机质和N、P、K等元素的储量, 同时大量秸秆的施入又能够改善土壤结构, 降低土壤容重, 增加土壤孔隙度, 提高土壤中微生物活性, 是改土培肥的重要措施。有关秸秆还田与化肥配施、

不同秸秆还田量和秸秆还田深度等对土壤物理性状、肥力和生物特性的研究很多^[1-4], 但大多数在探究短期秸秆还田和不同耕作措施下土壤性质的变化, 对于长期秸秆还田的研究较少, 特别是长期秸秆全量还田条件下土壤结构、微生物群落结构研究还不系统。我们依托甘肃农业大学平凉玉米育种试验站的长期定位试验, 对长期秸秆全量还田条件下土壤含水量、容重、孔隙度、微生物数量进行探讨, 旨在揭示长期全量秸秆还田下土

收稿日期: 2018-08-09

作者简介: 杨 钊(1990—), 男, 甘肃宁县人, 研究实习员, 主要从事作物栽培研究工作。联系电话: (0)15193195910。Email: 475969096@qq.com。

壤保水性、土壤结构、土壤微生物群落结构的变化机制,以期缓解黄土高原土壤水肥流失严重的情况,为该区农田生态系统的可持续发展及秸秆还田技术的推广提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验设在甘肃农业大学平凉玉米育种试验站(106° 25' E, 35° 24' N)的长期秸秆全量还田的定位实验田。海拔 1 170 m,年平均降水量 600 mm 左右,无霜期 163 d,土壤类型为黄绵土。 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 年积温 2 862.8 $^{\circ}\text{C}$,年均温 9.4 $^{\circ}\text{C}$,属于季风性大陆型气候。试验地土壤具有土质绵软、均匀以及土层深厚等特点。试验区设有 2002、2005、2008 年玉米秸秆全量还田试验田和未还田对照试验。在 2001 年秸秆还田处理前,测得土壤 0~40 cm 土层含有机质 10.85 g/kg、全氮 0.86 g/kg、全磷 1.76 g/kg、速效氮 55.37 mg/kg、速效磷 21.8 mg/kg、速效钾 203.35 mg/kg,容重 1.26 g/cm³,pH 为 8.73。

1.2 供试材料

指示作物为玉米,品种为富农 588 号。

1.3 试验方法

试验为西北黄土高原半干旱地区甘肃农业大学平凉玉米育种试验点定位实验。该试验于 2001 年 10 月开始,依托试验区 2002 年、2005 年和 2008 年以来进行连续全量玉米秸秆(9 800 kg/hm²)还田试验田,共设 4 种不同的还田年限处理,分别以未还田(H0)、连续全量玉米秸秆还田 9 a (H9)(2008—2016年)、连续全量玉米秸秆还田 12 a(H12)(2005—2016年)、连续全量秸秆还田 15 a (H15)(2002—2016年)的玉米田为研究对象。采用宽行 0.6 m、窄行 0.4 m,行长 10 m,密度为 5.25 万株/hm²的方式种植。各处理均施尿素 150 kg/hm²、普通过磷酸钙 150 kg/hm²,3 次重复,小区面积 50 m²,随机区组设计。各还田处理玉米收获后,在

“立冬”前利用机械将玉米秸秆全部粉碎成小段后覆盖于地表,春季播种前结合整地将秸秆旋耕翻埋入土。每年 4 月下旬播种,其他管理同一般大田。2016 年玉米主要生育期进行土壤样品采集和田间数据测定。

1.4 土壤理化指标及微生物数量的测定

土壤容重采用环刀法测定^[5],土壤水分采用烘干法测定^[6]。

土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法^[7]。即称取风干土样 0.5 g 于硬质试管中,加入 10 mL 重铬酸钾硫酸溶液后,将试管放入 180 $^{\circ}\text{C}$ 的油浴锅内加热 5 min,冷却后加入指示剂(12滴)至变为棕红色时停止,用标准 0.2 N 硫酸亚铁滴定至暗绿色时达到滴定终点,根据用量进行计算。

土壤微生物数量采用稀释平板法,细菌、真菌、放线菌分别用牛肉膏蛋白胨培养基、马丁氏培养基和改良高氏 I 号培养基进行培养。在 30 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱中培养,细菌 2 d、真菌 5 d、放线菌 7 d 计数^[8]。

1.5 数据处理

所有数据处理均使用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件进行相关性、显著性分析。

2 结果与分析

2.1 长期秸秆还田对耕层土壤含水量的影响

水分是影响作物生产的重要限制因子之一,土壤水分直接影响着作物产量的高低^[9]。由图 1 可以看出,长期秸秆还田对土壤水分有较大的影响,各生育期土壤含水量表现出随着还田年限的延长而逐渐升高的趋势。在 0~50 cm 土层中,土壤含水量总体表现出表层含水量较低,随着耕层加深含水量逐渐升高,其中 20~40 cm 土层区间内达到最高,然后含水量又有所下降;在 0~20 cm 耕层处理间变化幅度小,主要是因该层土壤结构差异性较小,且该层土壤易受到外界环境的影响。20~40 cm 土层土壤含水

量随着耕层深度的增加而逐渐增大，主要是因为该层是玉米根系分布的主要层次。

从图 1 还可以看出，土壤含水量随着玉米生育期的推进而发生变化。播种期由于在入冬前将秸秆全量粉碎后敷在地表，相当于在地表覆盖了保水层，能够阻止水分的蒸发；另外，在初春时对秸秆浅耕翻入土壤，能够有效的阻止水分的下渗，因此土壤含水量较高。可见，秸秆还田能够有效的提高各土层土壤含水量，并且为土壤水分贮存发挥了一定的作用。

2.2 长期秸秆还田对土壤容重的影响

土壤容重可以反映土壤质地、结构状况以及腐殖质含量的高低，其值大小与根系的穿透力、土壤含水量和通透性，以及水分利

用效率有密切的关系。对于玉米来说，土壤容重过大，根系的生长发育缓慢，影响根系对水分及土壤中养分的吸收和运移，进而影响地上部分的生长发育。由图 2 可知，0~50 cm 土层的土壤容重为 1.24~1.57 g/cm³，各处理的土壤容重均表现为还田土壤低于未还田土壤，由大到小依次为 H0、H9、H12、H15，0~20 cm 土层各个处理间的土壤容重差异不显著。而 20~50 cm 土层随着还田年限的增加较对照均呈减少的趋势。H15 土壤容重在 1.24~1.43 g/cm³ 变化，且在 10~20、20~30、30~50 cm 土层中 H15 相较于 H0 分别下降了 3.44%、11.14%、9.04%；H12 土壤容重在 1.24~1.44 g/cm³ 变化，在各土层中 H12 相较于 H0 分别下降 3.18%、

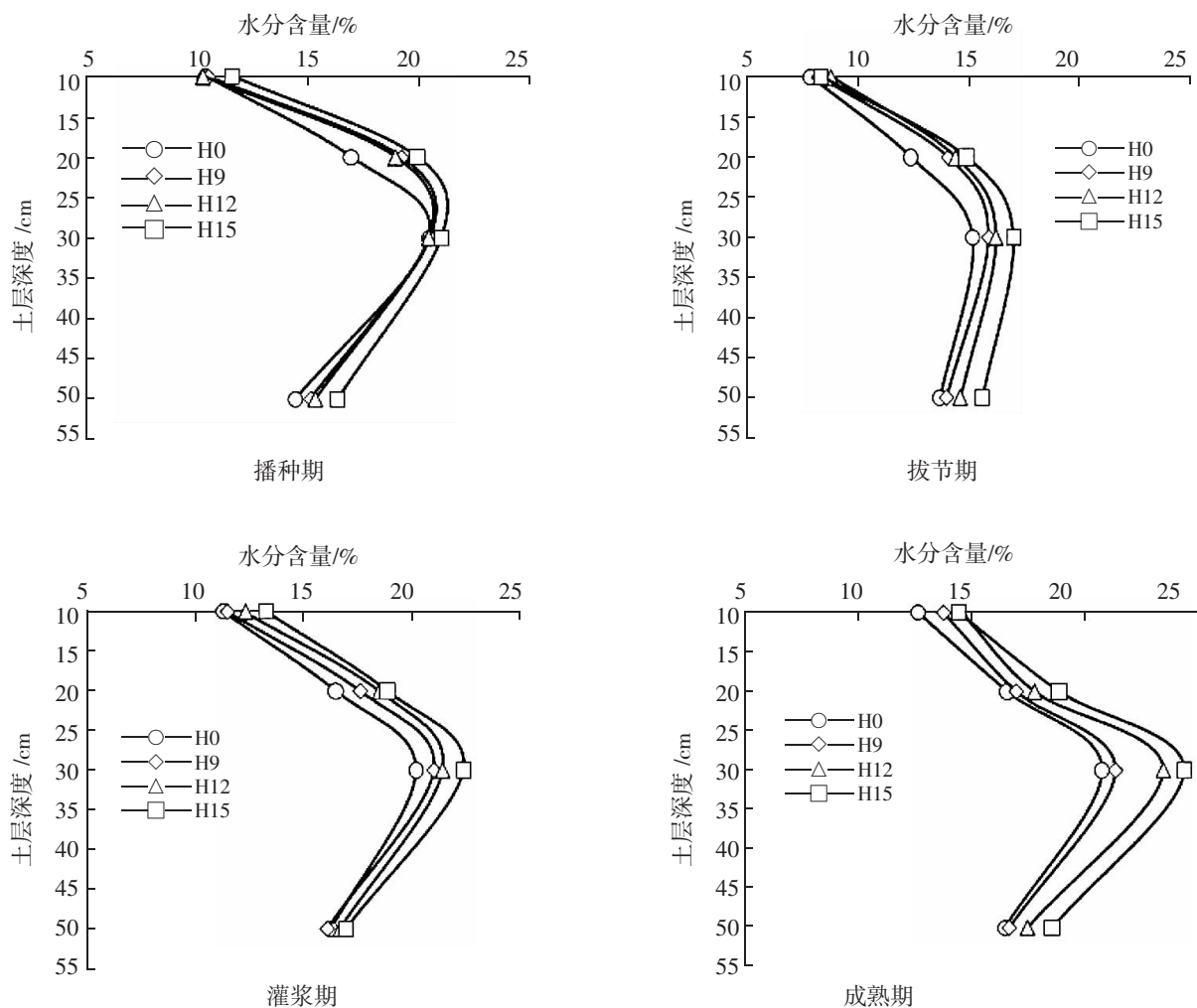


图 1 不同秸秆还田处理下 0~50 cm 土层土壤含水量变化

11.02%、8.39%；H9 土壤容重在 1.26 ~ 1.45 g/cm³ 变化，在各土层中 H9 相较于 H0 分别下降 2.88%、9.64%、8.01%；H0 在 1.27 ~ 1.57 g/cm³ 变化。由于 H0 处理存在耕作的关系，因此在 0 ~ 10 cm 土层中与各处理之间的土壤容重变化不明显，但随着深度的增加其容重值达到 1.52 ~ 1.57 g/cm³。

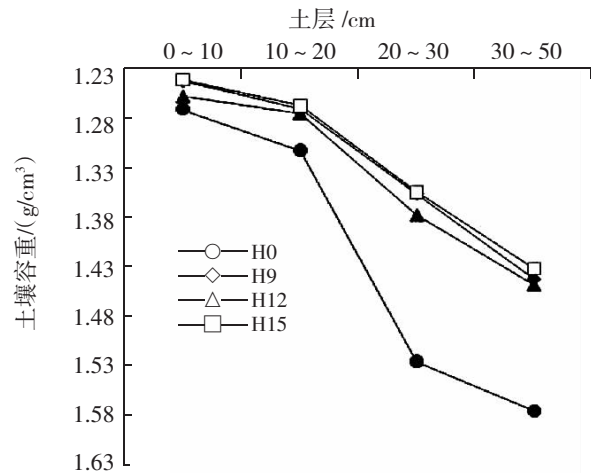


图 2 不同还田年限 0~50 cm 土层土壤容重的变化

2.3 长期秸秆还田对土壤孔隙度的影响

土壤孔隙度是土壤物理性质的重要组成部分，它能够反映土壤的松紧程度，其大小决定着土壤与外界环境之间的物质与能量的交换，土壤孔隙度过大或过小都不利于作物根系对土壤养分、水分等营养物质的吸收。由图 3 可以看出，随着还田年限的增加，土壤的孔隙度呈增加趋势，由大到小依次为 H15、H12、H9、H0。但各土层情况不同，在 0 ~ 10 cm 表层土壤中，各处理土壤孔隙度变化不明显，这是由于秸秆还田方式是全量粉碎覆盖地表，在播前采用浅耕翻入土壤。随着土层的加深，其孔隙度呈现减小的趋势，这与日常生产中的耕层上松下紧的情况相符，因为上层土壤进行过不同方式的耕作，而下层未进行耕作，因此表现为上松下紧。秸秆全量还田处理对其孔隙度的差异主要表现在 20 ~ 50 cm 土层中，由大到小依次表现为 H15、H12、H9、H0，其中在 20 ~

50 cm 土层中，H15 土壤孔隙度为 44.09% ~ 47.10%，H12 土壤孔隙度为 43.69% ~ 47.03%，H9 土壤孔隙度值为 43.45% ~ 46.20%；在 20 ~ 30、30 ~ 50 cm 土层中，土壤孔隙度 H15 较 H12 分别增加 0.15%、0.92%，较 H0 分别增加 16.22%、13.39%；H12 较 H9 分别增加 1.80%、0.54%，较 H0 分别增加 16.40%、14.44%；H9 较 H0 分别增加 14.19%、12.79%。由此可见，秸秆还田措施能够有效提高 0 ~ 50 cm 土层土壤孔隙度，这与作物根系和耕作方式密切相关，且随着还田时间的延长改良效果越明显。

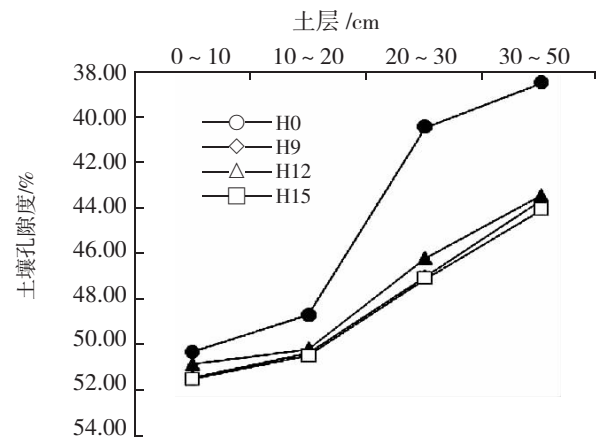


图 3 不同还田年限 0~50 cm 土层土壤孔隙度的变化

2.4 长期秸秆还田对土壤有机碳的影响

土壤有机碳是作物生长必需的营养物质，也是土壤微生物活动必不可少的能源物质，能够表征土壤质量的优劣。由图 4 可知，土壤有机碳主要在土壤表层富集，且随着土层的加深，土壤有机碳的含量在逐渐降低。不同还田年限秸秆连续全量还田处理，可以使 0 ~ 30 cm 土层的有机碳含量较未还田处理呈现显著增加的态势，由大到小表现为 H15、H12、H9、H0 的特点。说明还田的时间越长，土壤有机碳含量也就越高。在 0 ~ 10 cm 土层中，H15、H12、H9 较 H0 分别增加 160.46%、157.62%、150.40%，且各处理间差异达到显著水平，说明秸秆还田能

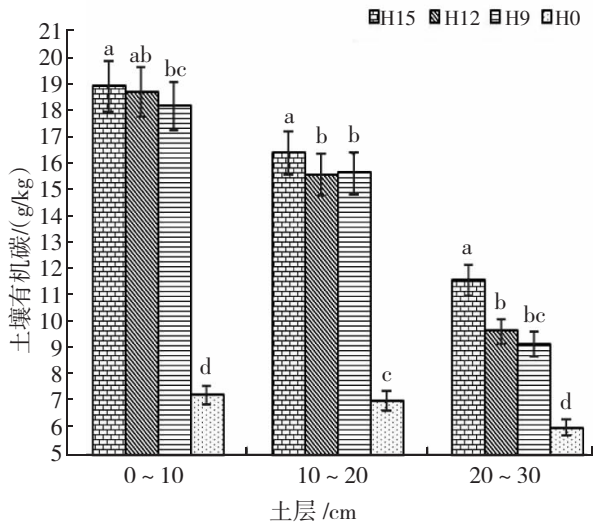


图 4 不同还田年限的土壤有机碳

够有效的增加耕层的土壤有机碳的含量。随着土层的加深，在 10~20 cm 土层中，H15、H12、H9 较 H0 分别增加 132.49%、121.09%、121.89%，但 H9 和 H12 之间无显著差异，均与 H0 有显著差异性。在 20~30 cm 土层中，土壤有机碳含量为 6.00~11.56 g/kg，差异进一步缩小，且 H15、H12、H9 较 H0 分别增加 92.48%、60.39%、52.62%。可见秸秆还田也能改良较深层的土壤，但是有机碳的增加幅度较表层小。同时反映出秸秆还田的改良效果表现为自上而下的趋势，表层土壤随着还田年限的增加则改良效果越好。

2.5 不同还田年限对土壤细菌、真菌、放线菌的影响

2.5.1 细菌 细菌数量被认为是评价土壤肥力的一个生物学标志指标。从表 1 可以看出，不同年份秸秆还田处理，在 0~30 cm 土层中土壤细菌数量均有不同程度增加，且随着还田年限的增加细菌数量呈现增加的趋势，由大到小表现为 H15、H12、H9、H0。同时看出，无论是生育期的变化还是还田年限的变化，都表现为根际细菌的数量远高于同时期非根际细菌数量，且各处理间呈现显著的差异变化。从玉米的生育期来看，根际、非根际细菌数量表现为苗期最小，随着

生育期的推进，微生物数量逐渐增加，散粉期各处理细菌数量达到最大，成熟期细菌数量又减少。这反映出作物根系与微生物没有互作效应，非根际土壤的微生物数量真实的反映了秸秆在土壤中的累积情况对细菌的影响，即还田年限与细菌数量的增加呈正比的关系。

2.5.2 真菌 土壤中真菌也是土壤中微生物的重要组成部分之一，它在土壤微生物中的占比很小，仅占 0.4%~3.61%，与许多作物病害的病原菌以及土传病害的发生有直接关系^[10]。从表 1 可以看出，还田处理土壤的真菌数量均高于未还田土壤，且随着还田处理年限的增加，土壤中真菌数量也在增加，当增加到一定数量后，继续增加还田年限反而真菌数量在下降。玉米根际真菌的变化无论在生育期还是在不同的还田年限下均有较大的差异，苗期由于气温较低，且作物的根系小且少，几个还田年限处理下根际真菌数量为 5.39~6.08(10²)cfu/g，且根际和非根际之间之间的差异不明显；随着生育期的推进及土壤和外界环境温度等因素的变化，玉米拔节期、散粉期、成熟期土壤真菌迅速繁殖，表现为真菌数量在随着生育期的推进而增加，且根际和非根际土壤的差异也在逐渐的增大。

2.5.3 放线菌 放线菌在土壤物质循环中主要是参与降解土壤中的各种不溶性的有机物质，且能够分解真菌和细菌不能分解的高分子化合物，转化成有利于植物生长的营养物质，对有机物的矿化有着重要的作用，能净化环境，改良土壤。土壤代谢强度的高低与土壤中放线菌的数量的多少有密切的联系。从表 1 可以看出，还田处理可显著增加土壤放线菌的数量，在整个生育期内，还田处理的放线菌数量均高于未还田处理，且随着还田年限的增加而增加。在玉米同一生育期内，根际、非根际放线菌的数量均随还田年

表 1 不同生育期秸秆还田根际土壤微生物量

处理	生育期	细菌 (10^6) / (cfu/g)		真菌 (10^2) (cfu/g)		放线菌 (10^4) (cfu/g)	
		根际	非根际	根际	非根际	根际	非根际
H0	苗期	14.58 a	3.03 a	5.14 a	5.02 a	6.85 a	3.21 a
H9		19.86 b	7.26 b	6.08 c	5.67 b	16.58 b	13.82 b
H12		20.47 c	9.03 c	6.03 c	5.59 b	18.18 c	16.63 c
H15		22.35 d	11.13 d	5.39 b	4.86 a	20.35 d	17.32 d
H0	拔节期	73.32 a	23.28 a	23.18 a	22.56 a	16.47 a	10.73 a
H9		148.46 b	52.16 b	40.76 c	32.58 c	50.38 b	30.58 b
H12		152.58 c	67.36 c	40.39 c	32.14 c	53.68 c	32.76 c
H15		155.37 d	72.82 d	35.52 b	29.58 b	57.64 d	35.81 d
H0	散粉期	998.57 a	876.56 a	426.56 a	368.53 a	598.45 a	316.29 a
H9		2 256.76 b	1 432.76 b	532.35 c	431.88 c	1 137.62 b	936.28 b
H12		2 368.72 c	1 573.58 c	531.72 c	431.25 c	1 349.34 c	1 029.73 c
H15		2 472.68 d	1 687.46 d	512.94 b	412.01 b	1 458.67 d	1 236.72 d
H0	成熟期	876.28 a	534.29 a	468.26 a	412.78 a	562.75 a	316.29 a
H9		1 658.75 b	873.91 b	605.29 c	587.32 c	946.32 b	936.28 b
H12		1 678.58 c	905.91 c	604.32 c	586.82 c	972.58 c	1 029.73 c
H15		1 785.63 d	972.65 d	543.48 b	509.72 b	1 027.63 d	1 236.72 d

限呈现增加的趋势, 由大到小表现为 H15、H12、H9、H0, 但随着还田年限的延长增加的幅度逐渐变小, 说明随着还田年限的增加土壤放线菌数量逐渐趋于平衡。土壤中根际、非根际放线菌的变化趋势与细菌变化趋势基本相似, 但是土壤放线菌的数量小于细菌的数量, 总体表现为苗期最少, 后期随着生育期的推进及温度等环境条件变得更适合放线菌的繁殖, 至散粉期达到最大, 后又在成熟期降低。

2.5.4 微生物群落 土壤微生物结构的变化往往会影响到土壤质量及土壤健康状况, 种群结构的失衡, 会导致许多病原菌富集, 使作物病害的发生几率大大增加, 进一步导致作物减产以及土壤质量降低。由表 2 可知, 随着还田年限的增加, 土壤细菌与真菌 (B/F) 和放线菌与真菌的比值 (A/F) 逐渐增大, 这说明长期秸秆还田能够有效改善土壤的微生物群体结构, 使土壤微生物菌群由肥力低的细菌型土壤向肥力高的细菌型土壤转变。在玉米不同的生育期, 增加的幅度不同。随着生育期的推进, 细菌与真菌比值的

增加幅度也在逐渐增大, 且在成熟期最大。这主要由于外界环境适宜以及秸秆腐解为土壤提供了大量的有机质, 利于土壤微生物的大量繁殖。放线菌与真菌的比值, 在玉米同一生育期内, 均表现为随着还田年限的增加逐渐增大。

3 结论与讨论

在陇东黄土高原研究了不同秸秆还田年限对土壤理化特性及微生物的影响, 结果表明, 秸秆还田能够显著提升土壤的贮水能力。在 0~50 cm 土层中, 土壤含水量总体表现先升高后降低趋势。秸秆还田能降低土壤容重及增加土壤孔隙度, 改善土壤结构, 同时还能增加土壤有机碳的含量, 对较深耕层土壤有良好的改善效果。秸秆还田能增加 0~30 cm 耕层土壤的微生物数量, 且随着还田年限的增加, 显著改善土壤微生物群落结构。

邹洪涛等^[11]在辽西的研究中发现, 秸秆还田能够显著的提高耕层土壤的含水量, 这与本研究结果一致。本研究发现, 秸秆还田能够显著增加耕层土壤的含水量。一是秸

表 2 长期秸秆还田对土壤微生物群落结构的影响

处理	生育期	细菌(10^6) /(cfu/g)	真菌(10^2) /(cfu/g)	放线菌(10^4) /(cfu/g)	B/F(10^4)	A/F(10^2)
H0	苗期	14.58 a	5.14 a	6.85 a	2.84 a	1.33 a
H9		19.86 b	6.08 c	16.58 b	3.26 b	2.73 b
H12		20.47 c	6.03 c	18.18 c	3.41 c	3.03 c
H15		22.35 d	5.39 b	20.35 d	4.14 d	3.77 d
H0	拔节期	73.32 a	23.18 a	18.47 a	3.16 a	0.80 a
H9		148.46 b	40.76 c	50.38 b	3.64 b	1.24 b
H12		152.58 c	40.39 c	53.68 c	3.78 c	1.33 c
H15		155.37 d	35.52 b	57.64 d	4.37 d	1.62 d
H0	散粉期	998.57 a	326.56 a	598.45 a	3.06 a	1.83 a
H9		2 256.76 b	532.35 c	1 137.62 b	4.24 b	2.10 b
H12		2 368.72 c	531.72 c	1 349.34 c	4.45 c	2.54 c
H15		2 472.68 d	512.94 b	1 458.67 d	4.82 d	2.84 d
H0	成熟期	876.28 a	468.26 a	562.75 a	1.87 a	1.13 a
H9		1 658.75 b	605.29 c	946.32 b	2.74 b	1.56 b
H12		1 678.58 c	604.32 c	972.58 c	2.78 c	1.61 c
H15		1 785.63 d	543.48 b	1 027.63 d	3.06 d	1.76 d

秆施入土壤后相当于在土壤中形成了一层保水膜，能够有效的减少水分的无效散失；二是秸秆施入土壤后与土体混合在一起，破坏了土壤毛线管的连续性，进而能够阻断深层土壤的散失，提高了土壤的含水量；三是减少了土壤与空气的接触面积，从而减少土壤水分的蒸发。但随着还田年限的增加，土壤含水量在逐渐增加，且逐渐达到平衡。

土壤容重和孔隙度是土壤物理性质重要的指标。张久明等^[12]试验表明，不同方式秸秆还田方式降低了土壤容重，同时提升了土壤孔隙度。本研究表明，长期连续全量秸秆还田能够显著的降低土壤容重，提高土壤的孔隙度，这是因为秸秆具有丰富的有机物质，还田后能够增加土壤中的有机质，促使土壤中的微生物和微小动物的活动，使土壤孔隙度增大，降低土壤的容重；秸秆还田后并未完全腐解，在土壤中还有秸秆的残渣，也会导致土壤的容重降低。另外，秸秆在腐解的过程中释放大量的气体，在与空气进行交换的过程中形成孔隙，也可增大土壤孔隙度。但是本研究还发现，秸秆还田 9 a 之

后，土壤容重和孔隙度增加缓慢，逐渐达到平衡。如果要想继续降低土壤容重，提升土壤孔隙度，可能需要实行秸秆还田结合其他的耕作或管理方式，但改良效果还需进一步探究。

土壤有机碳作为土壤有机质的主要成分，能够有效的反映土壤有机质的动态变化，直接影响着土壤的缓冲、耕性、保水和保肥等特性，已经成为评价土壤质量重要的一个指标^[13-15]。本研究表明，随着土层的加深，土壤有机质的增幅也逐渐降低，但还田土壤的有机碳含量均高于未还田土壤。这说明随着还田年限的增加，土壤的有机质含量在表层富集，且随着还田年限的增加表层养分的富集越显著。随着秸秆还田年限的增加，土壤有机碳的含量逐渐趋于稳定，这可能是因为随着秸秆还田年限的延长，土壤中的有机碳已达到了饱和状态。要想打破这种状态，还需结合其它的耕作措施进行，比如施肥、水分管理以及传统的耕作。

细菌、真菌、放线菌作为土壤中的三大微生物类群，它们与土壤中有机质的分解及

土壤养分的循环和转化有着密切的关系^[16-18]。本研究表明,无论是根际还是非根际,秸秆还田能够显著增加 0~30 cm 土层中的细菌、真菌和放线菌的数量。除真菌外,细菌和放线菌均表现为随着还田年限的增加其数量也在增加的趋势,其中细菌最为突出;其次表现为放线菌,而真菌的增长幅度与秸秆的腐解度有关,即早期秸秆还田能够迅速增加其真菌数量,当达到一定的还田年限后达到稳定甚至略微减少。在玉米生育期,微生物的数量也表现为繁殖的季节性,其中细菌和放线菌的数量无论是根际还是非根际,均在散粉期达到最大,而在成熟期略有回落。这可能一方面由于随着气温逐渐升高有利于微生物的繁殖,另一方面秸秆还田后经过腐解释放大量有机质及其营养物质,为微生物繁殖提供了充足的能量。在成熟期略有下降但高于苗期,这可能是由于秸秆腐解进入后期,玉米的生长消耗了土壤中的有机质及其养分,导致微生物所需的营养物质有所减少,玉米下层叶片和根系衰老脱落进入土壤,为微生物的繁殖补充了部分营养与能源物质。

参考文献:

- [1] 颜丽,宋杨,贺靖,等.玉米秸秆还田时间和还田方式对土壤肥力和作物产量的影响[J].土壤通报,2004,35(2):143-148.
- [2] 赵伟,陈雅君,王宏燕,等.不同秸秆还田方式对黑土土壤氮素和物理性状的影响[J].玉米科学,2012,20(6):98-102.
- [3] 隋鹏祥,张心昱,温学发,等.耕作方式和秸秆还田对棕壤土壤养分和酶活性的影响[J].生态学杂志,2016,35(8):2038-2045.
- [4] 高飞,贾志宽,路文涛,等.秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响[J].生态学报,2011,31(3):777-783.
- [5] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室编.土壤物理性质测定法[M].北京:科学出版社,1978.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所编.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2010.
- [8] 林先贵.土壤微生物研究原理与方法[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [9] 陆欣.土壤肥料学[M].北京:中国农业大学出版社,2002:82-293.
- [10] LAL R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel [J]. Environment International, 2005, 31(4): 575-584.
- [11] 邹洪涛,马迎波,徐萌,等.辽西半干旱区秸秆深还田对土壤含水量、容重及玉米产量的影响[J].沈阳农业大学学报,2012,43(4):494-497.
- [12] 张久明,迟凤琴,宿庆瑞.不同耕作方式对瘠薄型黑土区土壤结构的影响[J].玉米科学,2013,21(5):104-108.
- [13] TU C, RISTAINO J B, HU S J. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching [J]. Soil Biology & Biochemistry 2006, 38: 247-255.
- [14] 郑昭佩,刘作新,魏义长,等.水肥管理对半干旱丘陵区土壤有机质含量的影响[J].水土保持学报,2002,6(4):102-104.
- [15] 王同朝,聂胜,黄晓书,等.机械化秸秆全量还田的研究现状及应用前景[J].河南农业大学学报,2006,40(6):672-677.
- [16] BERGSTROM DW, MONTREAL CM, TOMLIN AD, et al. Interpretation of soil enzyme activities in a comparison of tillage practices along a topographic and textural gradient [J]. Canadian Journal of Soil Science, 2000, 80: 171-177.
- [17] 孙文泰,马明,刘兴禄,等.地表覆盖方式对陇东旱塬苹果园根际土壤微生物与酶活性的影响[J].甘肃农业科技,2017(12):64-68.
- [18] 高军.地面覆盖方式对苹果园土壤水分及微生物群落的影响[J].甘肃农业科技,2017(2):41-42.

(本文责编:陈伟)