

秸秆还田深度对黄棕壤养分及物理性质的影响

任晓明¹, 陈 粲², 陈效民¹, 曲成闯¹, 韩召强¹, 张晓玲¹, 孟子惟¹

(1. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 南京信息工程大学 应用气象学院, 江苏 南京 210044)

摘 要: [目的] 通过改变秸秆还田深度来探讨其对黄棕壤养分和物理性状的影响, 探索最适秸秆还田深度, 为提高秸秆利用率和改善土壤理化性质提供科学依据。[方法] 以黄棕壤为研究对象, 设置 5 个处理: 无秸秆还田(CK)、表面覆盖(T_0)、10 cm 还田(T_{10})、20 cm 还田(T_{20})和 30 cm 还田(T_{30}), 分析了小麦收获后土壤 0—40 cm 土层物理性质和土壤养分状况。[结果] ① 秸秆还田能显著降低土壤容重, 增加土壤总孔隙度、饱和含水量、田间持水量和有效水含量, 使土壤有机质、有效磷和全氮含量分别增加 6.56%~9.96%, 2.81%~7.32% 和 1.67%~10.00%; ② 秸秆还田减少了土壤铵态氮和硝态氮含量, 降幅为 1.48%~15.04% 和 14.90%~53.42%, 其中土壤硝态氮含量与秸秆还田深度呈显著负相关关系; ③ 由主成分分析可知, 各处理下的土壤综合得分次序为: $T_{20} > T_{30} > T_{10} > T_0 > CK$, 说明秸秆还田处理能改善土壤养分和物理状况, 其中秸秆还田深度为 20 cm 时效果最为显著。[结论] 综合黄棕壤物理性状和养分含量, 秸秆还田深度 20 cm 处理最为适宜。

关键词: 黄棕壤; 秸秆还田; 小麦; 土壤物理性状; 土壤养分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)02-0058-07

中图分类号: S157.3

文献参数: 任晓明, 陈粲, 陈效民, 等. 秸秆还田深度对黄棕壤养分及物理性质的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 58-64. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.010. Ren Xiaoming, Chen Can, Chen Xiaomin, et al. Effects of straw returning depth on nutrients and physical properties of yellow brown soil[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 58-64.

Effects of Straw Returning Depth on Nutrients and Physical Properties of Yellow Brown Soil

REN Xiaoming¹, CHEN Can², CHEN Xiaomin¹,

QU Chengchuang¹, HAN Zhaoqiang¹, ZHANG Xiaoling¹, MENG Ziwei¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China;

2. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information, Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: [Objective] The effects of different straw returning depths on nutrients and physical characters of yellow brown soil were studied in order to explore the optimal straw returning depth and to provide a scientific basis for improving straw utilization, and soil physical and chemical properties as well. [Methods] This research studied on yellow brown soil, and five treatments of straw returning were set: no straw turning (CK), straw covering surface(T_0), 10 cm-straw turning(T_{10}), 20 cm-straw turning(T_{20}) and 30 cm-straw turning(T_{30}), to analyze soil physical indexes and nutrient contents of 0—40 cm soil layer after wheat harvest. [Results] ① Straw returning decreased the soil bulk density and increased the soil total porosity, saturated water content, field water holding capacity and effective water content. These treatments improved the contents of SOM, AP and total-N in soil by 6.56%~9.96%, 2.81%~7.32% and 1.67%~10.00%, respectively; ② Straw returning treatments decreased the contents of NO_3^- -N and NH_4^+ -N by 14.90%~53.42% and 1.48%~15.04%, respectively. There was a significantly negative correlation between NO_3^- -N content and the depth of straw returning. ③ The principal component analysis showed that comprehensive score in

收稿日期: 2017-08-29

修回日期: 2017-09-27

资助项目: 江苏省自然科学基金项目“不同秸秆还田方式下旱地农田温室气体的长期模拟与预测”(SBK2015040286); 中科院南京土壤所开放基金项目(Y20160038); 博士后基金(2016M591884)

第一作者: 任晓明(1992—), 男(汉族), 河南省郑州市人, 硕士研究生, 研究方向为水土资源利用。E-mail: 2015103065@njau.edu.cn.

通讯作者: 陈效民(1957—), 男(汉族), 江苏省张家港市人, 博士, 教授, 主要从事水土资源利用方面的研究。E-mail: xmchen@njau.edu.cn.

different straw returning depth treatments decreased in the following order: $T_{20} > T_{30} > T_{10} > T_0 > CK$, which elucidated that straw returning improved nutrients and physical properties of yellow brown soil, and it showed the most significant depth of straw returning was 20 cm. [Conclusions] If physical properties and nutrient contents were considered, the best depth of straw returning was 20 cm.

Keywords: yellow brown soil; straw returned; wheat; soil physical properties; soil nutrient

作物秸秆是农业生产中的副产品,也是一种重要的生物质资源。中国是一个农业大国,也是秸秆资源最为丰富的国家之一,每年产生的农作物秸秆量占世界总量的 30%^[1]。但目前我国秸秆的综合利用率大约只有 50%,大量的秸秆被丢弃、焚烧,这不仅造成了资源的浪费,还使得土壤耕性和大气环境恶化,而秸秆还田是合理利用生物质资源促进农业可持续发展的重要途径^[2-4]。为了提高秸秆利用率,使秸秆发挥其最大经济效应,近年来已对其做了大量的研究。已有研究表明秸秆还田能有效增加土壤有机质含量、改良土壤理化性质和培肥地力^[5-6]。其中大部分研究侧重于通过改变秸秆还田量、利用不同种类秸秆处理方式和改变与氮肥配施量等来探讨如何提高秸秆还田利用效率和对土壤理化性质^[4,7-8]、温室气体排放^[9-10]、土壤微生物活动^[10-11]的影响。而秸秆还田的深度作为在实施过程中的一个基础因素,即通过改变

秸秆还田的深度来探讨它对土壤养分的影响方面的研究还鲜见报道,且确定最佳的秸秆还田深度对其利用效率的提高和对土壤理化性质和养分的改善均具有重要的意义。因此,本文选择黄棕壤为供试土壤,通过改变秸秆还田深度来探讨其对黄棕壤物理性质和养分的影响,探索最适秸秆还田深度,旨在为提高秸秆利用率、改善土壤理化性质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究区位于南京市江浦区农业试验站(32°03'N, 118°51'E,海拔约 22 m),土壤类型为典型的地带性土壤—黄棕壤。该区属于亚热带季风气候,多年平均降水量约为 1100 mm,平均温度为 15.6 °C,地下水埋深 1.5 m 以下。研究区土壤的基本理化性质详见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性质

土壤层次/ cm	pH 值	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	硝态氮/ (g · kg ⁻¹)	容重/ (g · cm ⁻³)	黏粒/ (g · kg ⁻¹)	粉砂粒/ (g · kg ⁻¹)	砂粒/ (g · kg ⁻¹)
0—10	6.77	10.72	0.72	5.38	1.44	354.31	361.93	283.76
10—20	7.61	9.12	0.63	2.58	1.56	356.51	325.55	317.94
20—30	7.86	6.23	0.51	2.36	1.64	351.01	328	320.99
30—40	7.66	5.68	0.49	1.74	1.67	346.68	315.15	338.17

1.2 试验材料

试验采用小麦—玉米一年两熟种植模式,供试小麦品种为镇麦 360,播种量为 200 kg/hm²,于 2016 年 10 月下旬播种,小麦生育期为当年的 10 月底至次年 6 月初。农田按常规施肥,共计施肥为 225 kg/hm²,其中基肥折合纯 N 165 kg/hm²,各处理小麦拔节期统一追施纯 N 60 kg/hm²,各处理的肥料施用量一致。浇拔节水 160 mm。

1.3 试验设计

试验区共设计 5 个处理:①空白对照(CK);②秸秆表面覆盖(T₀);③秸秆 10 cm 还田(T₁₀);④秸秆 20 cm 还田(T₂₀);⑤秸秆 30 cm 还田(T₃₀)。每个处理重复 3 次,采用拉丁方无序排列。每个小区面积为 4 m×4 m=16 m²,共 15 个小区。

试验区四周设 1 m 的保护行,小区间设 0.5 m 的排水沟。秸秆材料采用水稻秸秆,将其截成 5 cm 左

右小段,秸秆用量为 7 500 kg/hm²,秸秆于 2016 年 10 月 25 日一次性施入土壤中,后期不再添加秸秆。其中 T₀ 处理是将秸秆均匀覆盖在地表;T₁₀, T₂₀, T₃₀ 处理是采用机械翻埋秸秆方式将秸秆翻埋入土壤 10, 20, 30 cm 深处。

1.4 土样采集

于小麦成熟后(201706),按 10 cm 分四层采取 0—40 cm 的土样,各小区按对角线布点,进行 5 点混合取样,新鲜土样带回实验室后,先称取一定质量过 2 mm 筛的新鲜土壤用于土壤硝态氮、铵态氮的测定;其余土样室内自然风干(20 d),一部分土样过 2 mm 筛用于土壤速效磷的测定,另一部分土样过 0.149 mm 筛用于土壤有机质和全氮的测定。同时,利用环刀法采集原状土测定土壤容重、孔隙度、饱和含水量、田间持水量和有效水含量。加权平均后得到的平均值用于表征 0—40 cm 整体土层物理性质。

1.5 测定项目及方法

土壤容重及土壤总孔隙度分别采用环刀法和容重—密度计算法(土壤密度为 2.65 g/cm^3)测定;土壤饱和含水量、土壤田间持水量和有效含水量采用环刀法^[12]测定;土壤有机质(SOM)采用重铬酸钾外加热法测定;土壤全氮(TN)采用凯氏定氮法测定;土壤的铵态氮采用 2 mol/L 氯化钾浸提—靛酚蓝比色法;土壤的硝态氮采用 2 mol/L 氯化钾浸提—紫外分光光度法;土壤有效磷测定采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法。

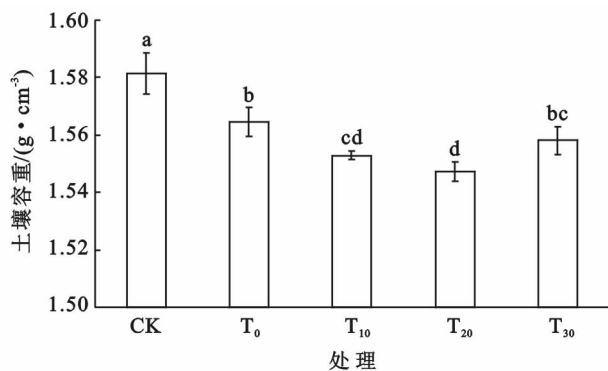
1.6 数据处理与分析

采用 Excel 2013 软件对数据进行处理并绘图。采用 SPSS 20.0 统计分析软件进行相关性和方差分析,多重比较采用 LSD 法。显著性水平设为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同秸秆还田深度对土壤物理性质的影响

2.1.1 不同秸秆还田深度对土壤容重的影响 土壤容重可以概括地反映土壤质地、结构状况以及腐殖质含量的高低,是土壤重要的物理特性之一。黄棕壤土壤物理性状差、土壤黏重、容重大、通气透水性能不良,进行秸秆还田处理后,于 2017 年小麦收获后按 10 cm 为 1 层共分 4 层测得 $0\text{—}40 \text{ cm}$ 土层的土壤容重(如图 1 所示),各处理土壤容重大小顺序为: $T_{20} < T_{10} < T_{30} < T_0 < \text{CK}$, 秸秆还田处理的土壤容重均显著低于单施化肥处理 CK ($p < 0.05$),降幅为 $1.05\% \sim 2.16\%$,其中 T_{20} 处理的土壤容重最低,为 1.547 g/cm^3 。另外,土壤容重随着秸秆还田深度的增加呈先降低后增加的趋势,其中在 T_{20} 处理中达到最低水平,分别比其他处理低 $0.70\% \sim 2.12\%$ 。



注:不同小写字母表示处理间在 5% 水平上差异显著。下同。

图 1 不同秸秆还田深度处理在 $0\text{—}40 \text{ cm}$ 土层中的土壤容重

2.1.2 不同秸秆还田深度对土壤孔隙度的影响 如图 2 所示,秸秆还田处理土壤总孔隙度显著高于单施

化肥处理 CK ($p < 0.05$),其中, T_{20} 处理的土壤总孔隙度最高,为 41.61% ;其次为 T_{10} 处理、 T_{30} 处理和 T_0 处理,土壤总孔隙度分别为 41.40% , 41.20% 和 40.95% ;CK 处理的土壤总孔隙度最低,为 40.32% 。土壤总孔隙度随着秸秆还田深度的增加呈先增加后降低趋势,与土壤容重变化趋势一致。

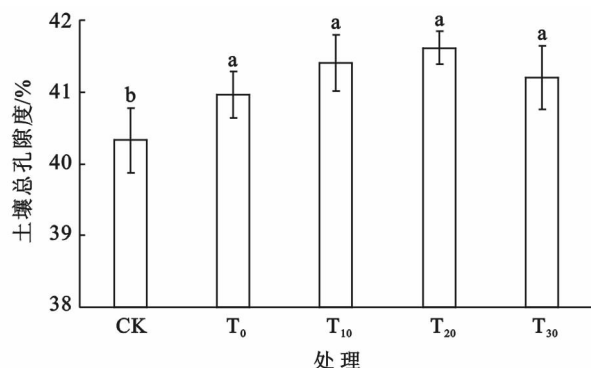


图 2 不同秸秆还田深度处理在 $0\text{—}40 \text{ cm}$ 土层中的土壤总孔隙度

2.1.3 不同秸秆还田深度对土壤饱和含水量、田间持水量和有效水含量的影响 不同处理的土壤饱和含水量、田间持水量和有效水含量如表 2 所示。在 3 项指标中,各处理趋势一致,均表现为: $T_{20} > T_{10} > T_{30} > T_0 > \text{CK}$, T_{20} 处理分别比其他处理高 $1.77\% \sim 9.90\%$, $2.93\% \sim 7.24\%$ 和 $3.00\% \sim 8.08\%$ 。与单施化肥处理 CK 相比,秸秆还田处理 T_{20} , T_{10} , T_{30} 和 T_0 的土壤饱和含水量分别增加 9.90% , 7.99% , 3.47% 和 3.35% ,田间持水量分别增加 7.24% , 4.19% , 3.42% 和 2.61% ,有效水含量分别增加 8.08% , 4.93% , 4.13% 和 3.47% ,其中 T_{20} 处理与 CK 处理间的土壤饱和含水量、田间持水量和有效水含量间的差异均达到显著水平 ($p < 0.05$)。

表 2 不同秸秆还田深度处理对土壤饱和含水量、田间持水量和有效水含量的影响

处理	饱和含水量	田间持水量	有效水含量
CK	29.78 ± 0.12^{bc}	22.50 ± 0.14^{bc}	19.85 ± 0.13^{bc}
T ₀	30.77 ± 1.06^{bc}	23.08 ± 0.79^{bc}	20.54 ± 0.79^{bc}
T ₁₀	32.16 ± 0.96^{ab}	23.44 ± 0.30^{ab}	20.83 ± 0.31^{ab}
T ₂₀	32.72 ± 0.24^a	24.13 ± 0.49^a	21.45 ± 0.44^a
T ₃₀	30.81 ± 0.18^{bc}	23.27 ± 0.08^{bc}	20.67 ± 0.10^{bc}

注:平均值±标准差 ($n=3$),同列不同字母表示处理间差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

2.2 不同秸秆还田深度对土壤养分性质的影响

2.2.1 不同秸秆还田深度处理对土壤有机质含量的

影响 不同秸秆还田深度处理对土壤有机质含量的影响详见表 3。由表 3 可知,在 0—40 cm 整体土层中,与单施化肥处理 CK 相比,秸秆还田处理 T_{20} , T_{10} , T_0 , T_{30} 的有机质含量分别增加 9.96%, 8.32%, 7.69%, 6.56%, 且差异均达到显著水平 ($p < 0.05$)。在 0—10 cm 土层中, T_0 处理有机质含量显著高于其他处理,增幅为 6.01%~10.87%;在 10—20 cm 土层

中, T_{10} 处理有机质含量最高,并与 CK, T_{20} , T_{30} 处理相比差异显著;在 20—30 cm 土层中, T_{20} 处理相比其它处理均显著增加,增幅为 9.45%~20.10%;在 30—40 cm 土层中, T_{20} , T_{30} 处理的有机质含量显著高于其它处理。说明秸秆还田处理能显著增加土壤有机质含量,且对在秸秆还田深度的相邻土层有机质含量的影响最为显著。

表 3 不同秸秆还田深度处理对土壤有机质(SOM)含量的影响

g/kg

处理	不同土层深度 SOM 含量				
	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	30—40 cm	0—40 cm(加权平均)
CK	10.39±0.29 ^c	9.40±0.52 ^d	6.27±0.26 ^c	5.68±0.01 ^c	7.93±0.27 ^c
T_0	11.50±0.16 ^a	10.53±0.33 ^{ab}	6.58±0.09 ^{bc}	5.53±0.06 ^c	8.54±0.16 ^b
T_{10}	10.81±0.27 ^b	10.77±0.09 ^a	6.64±0.01 ^b	6.15±0.05 ^b	8.59±0.11 ^{ab}
T_{20}	10.25±0.01 ^c	10.20±0.22 ^{bc}	7.53±0.15 ^a	6.88±0.12 ^a	8.72±0.12 ^a
T_{30}	10.34±0.19 ^c	9.94±0.07 ^c	6.88±0.01 ^b	6.64±0.19 ^a	8.45±0.12 ^b

2.2.2 不同秸秆还田深度处理对土壤有效磷含量的影响 不同秸秆还田深度处理对土壤有效磷含量的影响(表 4)。由表 4 可知,在 0—40 cm 整体土层中,与单施化肥处理 CK 相比,秸秆还田处理 T_0 , T_{10} , T_{20} , T_{30} 的有效磷含量分别增加 2.81%, 7.32%, 6.27% 和 5.21%, 且 T_{10} , T_{20} , T_{30} 处理与 CK 处理的差异均达到

显著水平 ($p < 0.05$);在 0—10 cm 土层中, T_{10} 处理的有效磷含量高于其它处理,增幅为 4.03%~14.41%;在 10—20 cm 和 20—30 cm 土层中, T_{20} 处理的有效磷含量均高于其他处理,增幅分别为 2.65%~12.07%, 4.86%~13.35%;在 30—40 cm 土层中, T_{30} 处理的有效磷含量最高,增幅为 1.33%~10.88%。

表 4 不同秸秆还田深度处理对土壤有效磷(AP)含量的影响

mg/kg

处理	不同土层深度 AP 含量				
	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	30—40 cm	0—40 cm(加权平均)
CK	23.75±1.81 ^{bc}	21.45±0.18 ^b	17.90±0.95 ^b	16.69±0.13 ^b	19.95±0.14 ^c
T_0	24.57±0.98 ^{ab}	21.90±0.62 ^b	19.03±1.95 ^{ab}	16.55±0.45 ^b	20.51±0.44 ^{bc}
T_{10}	25.56±1.25 ^a	23.42±1.07 ^a	18.96±1.25 ^{ab}	17.71±0.56 ^{ab}	21.41±0.13 ^a
T_{20}	22.34±0.18 ^c	24.04±0.80 ^a	20.29±0.48 ^a	18.11±0.23 ^a	21.20±0.07 ^{ab}
T_{30}	23.57±0.68 ^{bc}	22.71±0.64 ^{ab}	19.35±0.21 ^{ab}	18.35±0.46 ^a	20.99±0.18 ^{ab}

2.2.3 不同秸秆还田深度处理对土壤氮素含量的影响 由表 5 可知,在 0—40 cm 整体土层中,与单施化肥处理 CK 相比,秸秆还田处理 T_{20} , T_0 , T_{30} , T_{10} 的 TN 含量分别增加 10.00%, 6.67%, 3.33%, 1.67%, 且均与单施化肥处理 CK 的差异达到显著水平 ($p < 0.05$);而秸秆还田处理的 NO_3^- -N 含量则显著低于 CK 处理 ($p < 0.05$),降低幅度在 14.90%~53.42% 之间,各处理的 NO_3^- -N 含量大小顺序为:CK> T_0 > T_{10} > T_{20} > T_{30} ,且土壤中 NO_3^- -N 含量与秸秆还田深度呈显著负相关关系趋势 ($p < 0.05$),回归方程为: $y = -0.073 3x + 4.772$,相关系数为 0.976。

秸秆还田处理的 NH_4^+ -N 含量低于 CK 处理,其中 T_{20} , T_{30} 处理 NH_4^+ -N 含量显著低于 CK 处理,分别减少了 13.98% 和 15.04%。

2.3 土壤性质的主成分分析

如图 3 所示,对各土壤因子进行主成分分析,第 1 主成分 PC_1 的方差贡献率为 81.01%,第 2 主成分 PC_2 的方差贡献率为 9.22%,二者之和为 90.23%,可以代表系统内的所有信息。

从特征值和贡献率可知,各主成分对土壤性质的影响力依次为: $\text{PC}_1 > \text{PC}_2$, PC_1 所含信息量在 2 个主成分中较高。由土壤性质主成分载荷矩阵分布图可知,除全氮、硝态氮和铵态氮以外,其余土壤因子在 PC_1 上均有较高的因子载荷;全氮、硝态氮和铵态氮在 PC_2 上有较高的因子载荷。综合以上分析,大部分变量在 2 个主成分中有较高的因子载荷,说明这 2 个主成分可以反映由上述土壤因子所表征的土壤质量状况的高低。

表 5 不同秸秆还田深度处理对土壤氮素含量的影响

氮素	处理	土层深度				
		0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	30—40 cm	0—40 cm(加权平均)
土壤全氮(TN)	CK	0.75±0.00 ^{cd}	0.65±0.01 ^d	0.53±0.00 ^e	0.49±0.01 ^b	0.60±0.00 ^d
	T ₀	0.76±0.01 ^c	0.76±0.00 ^a	0.56±0.02 ^b	0.49±0.01 ^b	0.64±0.00 ^b
	T ₁₀	0.81±0.01 ^a	0.65±0.01 ^d	0.50±0.00 ^d	0.49±0.01 ^b	0.61±0.00 ^{cd}
	T ₂₀	0.78±0.01 ^b	0.73±0.01 ^b	0.61±0.02 ^a	0.51±0.00 ^a	0.66±0.01 ^a
	T ₃₀	0.75±0.01 ^{cd}	0.69±0.00 ^c	0.53±0.01 ^c	0.52±0.02 ^a	0.62±0.01 ^c
土壤硝态氮(NO ₃ ⁻ -N)	CK	6.97±0.67 ^a	7.64±0.27 ^a	3.76±0.13 ^a	5.00±0.57 ^a	5.84±0.41 ^a
	T ₀	6.02±0.13 ^b	7.91±0.13 ^a	3.36±0.01 ^a	2.60±0.05 ^{bc}	4.97±0.08 ^b
	T ₁₀	7.37±0.01 ^a	3.49±0.94 ^b	2.42±0.13 ^b	1.89±0.13 ^d	3.79±0.30 ^c
	T ₂₀	4.69±0.54 ^c	3.10±0.25 ^{bc}	2.22±0.27 ^b	2.82±0.27 ^b	3.21±0.33 ^d
	T ₃₀	3.49±0.13 ^d	2.88±0.06 ^c	2.33±0.05 ^b	2.18±0.03 ^{cd}	2.72±0.07 ^e
土壤铵态氮(NH ₄ ⁺ -N)	CK	4.48±0.15 ^b	5.89±0.05 ^a	3.89±0.04 ^b	4.61±0.04 ^a	4.72±0.07 ^a
	T ₀	4.52±0.05 ^b	4.99±0.42 ^b	4.87±0.44 ^a	4.23±0.08 ^a	4.65±0.25 ^a
	T ₁₀	3.89±0.01 ^a	4.62±0.57 ^{bc}	4.82±0.27 ^a	3.73±0.10 ^b	4.64±0.24 ^a
	T ₂₀	5.38±0.14 ^b	4.38±0.21 ^c	4.42±0.69 ^a	3.29±0.57 ^b	4.06±0.42 ^b
	T ₃₀	4.09±0.52 ^b	4.82±0.21 ^{bc}	3.56±0.63 ^b	3.56±0.45 ^b	4.01±0.35 ^b

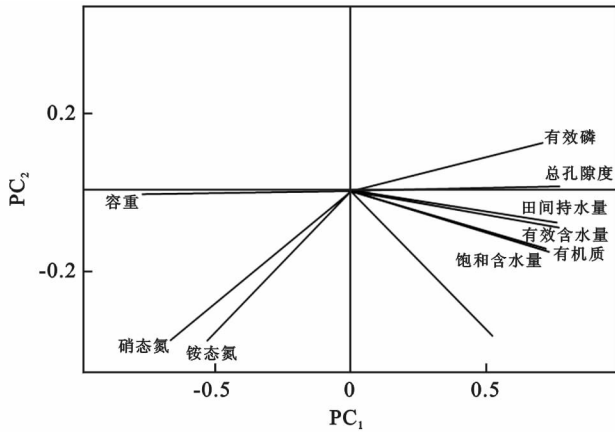


图 3 土壤性质主成分载荷矩阵分布

不同秸秆还田深度处理的土壤在 2 个主成分上的得分情况详见表 6。综合评价可知,不同秸秆还田深度处理的土壤性质水平差异较大,不同秸秆还田深度处理下的土壤综合得分次序为: $T_{20} > T_{30} > T_{10} > T_0 > CK$, T_{20} 处理土壤养分及物理性质的水平最高,而 CK 处理最低。这说明秸秆还田能提高土壤养分水平和改善土壤物理性状,尤其在秸秆还田深度为 20 cm 时对土壤养分的提高和物理性状的改善最为明显。

表 6 不同秸秆还田深度的主成分得分及综合得分

处理	第 1 主成分(PC ₁)	第 2 主成分(PC ₂)	综合得分	排序
CK	-1.911 6	0.063 01	-1.542 78	5
T ₀	-0.353 1	-1.409 37	-0.415 93	4
T ₁₀	0.488 6	-0.012 52	0.394 66	3
T ₂₀	1.492 1	-0.626 48	1.151 01	1
T ₃₀	0.283 9	1.985 36	0.412 96	2

3 讨论

国内外学者就秸秆还田对土壤物理性质的影响做了较多的研究,多数表明秸秆还田对降低土壤容重、增加孔隙度有积极作用^[3-4,13],能使土壤的通气状况得到显著改善^[14]。本研究中,秸秆还田处理与单施化肥处理 CK 相比,0—40 cm 整体土层的容重得到显著降低,降幅为 1.05%~2.16%;土壤总孔隙度有所增加,增加幅度为 0.63%~1.29%;同时土壤的饱和含水量、田间持水量和有效水含量也有增加,分别增加了 3.35%~9.90%,2.61%~7.24%,3.47%~8.08%,此结果与前人研究结果一致。另外本研究还发现 T_{20} 处理的各项物理指标都优于其他处理,可能是因为,一方面秸秆 20 cm 还田打破了犁底层,加深了耕作层,疏松了土壤,改善了土壤的水、肥、气、热状况,使 T_{20} 处理的土壤物理性质优于 T_0 和 T_{10} 处理,另一方面,在 20 cm 土层中,该层土壤水分、氧气条件好,微生物活动较为频繁, T_{20} 处理的相比其它秸秆还田处理秸秆完全腐解所需时间较短^[15],在相同时间内释放养分较多,使土壤微生物更为活跃,同时秸秆的腐解有利于促进土壤微粒的团聚作用,两者在改善土壤物理性质方面都有积极的作用,因此 T_{20} 处理对土壤物理性质的改善更为明显。

土壤有机质是影响土壤养分和作物产量高低的决定性因子^[16]。从本试验的土壤有机质含量数据可知,秸秆还田促进土壤有机质的增加,而 T_{20} 处理增加效果更加显著。一方面,可能是由于深层土壤通气性较差,从而避免了秸秆分解以 CO_2 的形式释放^[17],而

更有利于有机质的累积^[18], 造成 T_{20} 处理相比于 T_0 和 T_{10} 处理效果更加显著; 另一方面, 相比 T_{30} 处理, T_{20} 处理的秸秆在 20 cm 土层中完全腐解速率较快^[15], 在相同时间内释放出的腐殖质含量较多, 而土壤腐殖质是有机质的重要组成部分, 是衡量土壤有机质含量和稳定性的重要指标。

土壤有效磷是土壤磷素养分供应水平高低的指标, 土壤磷素含量高低在一定程度上反映了土壤中磷素的贮量和供应能力。武际等^[19]研究表明, 秸秆还田能使土壤有效磷含量提高 7.52%~10.03%, 与本试验研究结果一致。秸秆还田深度对相邻土层有效磷增加幅度最为明显, 其原因可能是稻秆中含有大量的氮磷钾等营养物质, 随着秸秆的施入、腐解和矿化, 为秸秆接触的相邻土层提供了大量磷素。而造成 T_{10} 、 T_{20} 处理的 0—40 cm 土层中有效磷含量高于其他处理的原因可能是秸秆在 10、20 cm 土层中的水分、氧气条件好, 微生物活动频繁, 使秸秆完全腐解速度较快, 从而能释放出较多磷素。

耕层土壤氮素包含有机态和无机态, 秸秆还田可避免氮素挥发损失, 增加作物对氮素的吸收以及土壤中微生物有效性碳含量, 极大地刺激了土壤微生物的活动。土壤硝态氮作为可被旱作作物直接利用的无机态氮素, 是作物氮素营养的重要来源, 作物秸秆还田会影响土壤氮的矿化固持, 进而对土壤无机氮产生影响^[20]。本研究表明秸秆还田处理能有效增加土壤全氮含量, 可能是因为随着秸秆分解, 释放出有机氮和无机氮, 可以为土壤提供氮源来补充土壤全氮的消耗。另外 CK 处理的 0—40 cm 土层中硝态氮含量显著高于秸秆还田处理, 这与前人的研究结果相一致^[21-22]。其原因可能为: ①水稻秸秆具有较高的碳氮比(C/N 比值在 45 左右), 碳氮比大, 微生物分解秸秆过程中需要利用一定量的无机氮维持其生活, 平均每添加 1 000 kg 秸秆就有 10 kg/(hm²·a) 的矿质态氮被微生物固定, 这也产生了土壤缺氮现象; ②秸秆还田提高了冬小麦的氮素利用效率, 冬小麦从土壤中吸收了较多的硝态氮, 而造成留在土壤中的硝态氮含量较少; 另外, 土壤中硝态氮含量与秸秆还田深度呈负相关关系, 并达到显著水平($p < 0.05$)。这一方面可能是随着秸秆还田深度加深, 土壤中氧气含量减少, 好气微生物活性减弱, 使秸秆矿化释放出的硝态氮逐渐减少; 另一方面可能是随着秸秆还田深度的增加, 冬小麦的氮素利用效率逐渐提高。秸秆还田处理的 NH_4^+-N 含量低于 CK 处理, 其主要原因是秸秆还田后, 由于秸秆碳氮比较高, 微生物分解秸秆过程中需要利用一定量的无机氮维持其生命活动, 会影响土

壤氮的矿化固持。

本研究中, 秸秆还田深度与土壤理化性质主成分分析的结果显示, 不同秸秆还田深度处理的土壤质量水平差异较大, T_{20} 处理土壤质量水平最高, 而不施肥的 CK 处理土壤质量水平最低。说明秸秆还田对改良土壤理化性质和培肥地力有一定的积极作用。而造成 T_{20} 处理土壤质量水平最高的原因可能是秸秆在 20 cm 深度时, 土壤水分、氧气条件好, 微生物活动较为频繁, 导致秸秆完全腐解时间较短^[15], 在小麦生长期, 相比其他秸秆还田处理的秸秆腐解矿化释放出的营养物质较多, 能为土壤提供更多的养分, 使土壤微生物更为活跃, 同时秸秆的腐解有利于促进土壤微粒的团聚作用; 也可能是由于 T_{20} 与 T_0 、 T_{10} 处理相比, 打破了犁底层, 加深了耕作层, 疏松土壤, 从而降低土壤容重, 增加土壤孔隙度、田间持水量、饱和含水量等, 使土壤物理性状得到改善。综合以上原因, 使秸秆还田深度为 20 cm 时, 对黄棕壤土壤物理性质和养分含量的改善最为明显。

4 结论

(1) 秸秆还田处理均可以改善黄棕壤物理性质, 提高黄棕壤养分含量。

(2) 秸秆还田处理能增加土壤有机质、有效磷、全氮和铵态氮含量, 但降低了土壤硝态氮含量, 并且土壤中硝态氮含量与秸秆还田深度呈负相关关系, 能显著改善土壤中硝态氮的污染问题。

(3) 由主成分分析结果可知, 在秸秆还田条件下, T_{20} 处理对土壤养分和物理性质的改善最为明显, T_0 处理的改善效果较弱, 其得分依次排列为: $T_{20} > T_{30} > T_{10} > T_0 > CK$ 。

【参考文献】

- [1] 张丽, 张中东, 郭正宇, 等. 深松耕作和秸秆还田对农田土壤物理特性的影响[J]. 水土保持通报, 2015, 35(1): 112-117.
- [2] Zhang Guosheng, Chan K Y, Li Guangdi, et al. Effect of straw and plastic film management under contrasting tillage practices on the physical properties of an erodible loess soil [J]. Soil and Tillage Research, 2008, 98(2): 113-119.
- [3] 朱利群, 张大伟, 卞新民, 等. 连续秸秆还田与耕作方式轮换对稻麦轮作田土壤理化性状变化及水稻产量构成的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 81-85.
- [4] 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.
- [5] 王改玲, 郝明德, 陈德立. 秸秆还田对灌溉玉米田土壤反

- 硝化及 N_2O 排放的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(6): 840-844.
- [6] 潘志勇, 吴文良, 牟子平, 等. 不同秸秆还田模式和施氮量对农田 CO_2 排放的影响[J]. 土壤肥料, 2006(1): 14-16.
- [7] 强雪彩, 袁红莉, 高旺盛. 秸秆还田量对土壤 CO_2 释放和土壤微生物量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 469-472.
- [8] 张电学, 韩志卿, 李东坡, 等. 不同促腐条件下秸秆还田对土壤微生物量碳氮磷动态变化的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1903-1908.
- [9] 张电学, 韩志卿, 刘微, 等. 不同促腐条件下玉米秸秆直接还田的生物学效应研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 36-43.
- [10] Sierra J. Temperature and soil moisture dependence of N mineralization in intact soil cores [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1997, 29(9): 1557-1563.
- [11] Balota E L, Machineski O, Matos M A. Soil microbial biomass under different tillage and levels of applied pig lurry [J]. Revista Brasileira de Engenharia Agricola Ambiental, 2012, 16(5): 487-495.
- [12] 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.
- [13] Ning Tangyuan, Han Bin, Jiao Nianyuan, et al. Effects of conservation tillage on soil porosity in maize-wheat cropping system. [J]. Plant Soil & Environment, 2009, 55(8): 327-333.
- [14] 慕平, 张恩和, 王汉宁, 等. 连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 81-85.
- [15] 李新举, 张志国, 李贻学. 土壤深度对还田秸秆腐解速度的影响[J]. 土壤学报, 2001, 38(1): 135-138.
- [16] Kahlon M S, Lal R, Ann Varughese M. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio [J]. Soil & Tillage Research, 2013, 126(1): 151-158.
- [17] 崔婷婷, 窦森, 杨轶囡, 等. 秸秆深还对土壤腐殖质组成和胡敏酸结构特征的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(4): 718-725.
- [18] 矫丽娜, 李志洪, 殷程程, 等. 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 665-672.
- [19] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(2): 565-575.
- [20] 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 等. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 526-535.
- [21] 张亚丽, 张娟, 沈其荣, 等. 秸秆生物有机肥的施用对土壤供氮能力的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1575-1578.
- [22] Nicholson F A, Chambers B J, Mills A R, et al. Effects of repeated straw incorporation on crop fertilizer nitrogen requirements, soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses [J]. Soil Use and Management, 1997, 13(3): 136-142.

(上接第 57 页)

- [10] Wu Shaoha, Shi Yaxing, Zhou Shenglu, et al. Modeling and mapping of critical loads for heavy metals in Kunshan soil[J]. Science of the Total Environment, 2016, 569-570: 191-200.
- [11] He Binyun, Zhao Jun, Shi Jingbo, et al. Research progress of heavy metal pollution in China: Sources, analytical methods, status, and toxicity [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(2): 134-140.
- [12] 陈秀端, 卢新卫, 赵彩凤, 等. 西安市二环内表层土壤重金属空间分布特征[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1281-1288.
- [13] 谷蕾, 宋博, 全致琦, 等. 连霍高速不同运营路段路旁土壤重金属分布及潜在生态风险[J]. 地理科学进展, 2012, 31(5): 632-638.
- [14] 李晋昌, 张红, 石伟. 汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布[J]. 环境科学, 2013, 34(1): 116-120.
- [15] 王应刚. 晋中盆地城市化发展对区域生态环境影响研究[D]. 山西 太原: 山西大学, 2007.
- [16] 刘勇, 张红, 尹京苑. 汾河太原段土壤中 Hg, Cr 空间分布与污染评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 57-60.
- [17] 高鹏, 刘勇, 苏超. 太原城区周边土壤重金属分布特征及生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(5): 866-873.
- [18] 徐争启, 倪师军, 虞先国, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(2): 112-115.
- [19] 史崇文, 赵玲芝, 郭新波, 等. 山西土壤元素背景值及其特征[J]. 华北地质矿产杂志, 1994(2): 188-196.
- [20] Manta D S, Angelone M, Bellanca A, et al. Heavy metals in urban soils: A case study from the city of Palermo (Sicily), Italy [J]. Science of the Total Environment, 2002, 300(1/3): 229-243.