



孟祥海,李玉梅,王根林,等.不同耕作方式对草甸土结构变化的影响[J].黑龙江农业科学,2019(7):4-11.

不同耕作方式对草甸土结构变化的影响

孟祥海¹,李玉梅²,王根林³,王立柱¹,邵广忠¹,胡颖慧¹,孙殷会¹,张庆娜¹

(1. 黑龙江省农业科学院 牡丹江分院,黑龙江 牡丹江 157000;2. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所,黑龙江 哈尔滨 150086;3. 黑龙江省农业科学院 畜牧研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为促进土壤结构改良,通过田间定位试验,从时间和空间尺度上,研究不同耕作与秸秆还田方式对典型旱地草甸土土壤团聚体和土壤容重的季节动态变化的影响。结果表明:不同耕作与培肥方式下,土壤容重均在20~30 cm土层较高,平均 $1.51\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;不同耕作方式,0~40 cm土层拔节期前 $\text{NT}<\text{DT}<\text{ST}$;大喇叭口期至成熟期,NT容重增加;成熟期0~30 cm土层,深翻($1.45\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)与浅翻($1.44\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)无差异,30~50 cm土层,深翻容重($1.48\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)略有增加;免耕秸秆覆盖,0~50 cm土层平均容重($1.42\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$),比DT-S和ST-S减少 $0.03\sim 0.05\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;0~30 cm土层,ST-S比DT-S增加 $0.05\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,30~50 cm土层,趋势相反。浅翻会造成犁底层上移,0~30 cm容重增加,而深翻增加了40~50 cm土层容重。10~20 cm质地为粉砂质粘土,40~50 cm为粘土,其余土层为壤质粘土;免耕与耕作前土壤团聚体分布更接近,均在 $>1\text{ mm}$ 粒级处出现高峰,而ST与DT处理的波动性变化比较接近,NT处理在40~50 cm土层的 $0.5\sim 1.0$ 和 $3.0\sim 5.0\text{ mm}$ 粒径土粒含量明显高于ST与DT处理。横向比较,不同耕作方式下,团聚体分布不同;纵向比较,同一耕作方式,无论秸秆还田与否,不同粒级团聚体的波动性变化趋势一致。综合可知,土壤团聚体的机械稳定性受耕作方式影响较大,短期耕作与秸秆还田方式对土壤理化性状的影响虽受年季间的影响发生变化。

关键词:草甸土;耕作方式;土壤结构

牡丹江市西安区地处黑龙江省东南部,温带大陆性季风气候,春夏季降雨集中,时空分配不均匀。典型旱地草甸土所在区域虽然黑土层厚、有机质较多、水分充足,养分丰富、潜在肥力较高,但地势低平、地下水位高、经常受到地下水浸润的影响,易受到洪涝威胁^[1];加之多年连作及不科学的施肥措施造成土壤板结、结构性不良,导致抗旱能力有下降趋势,严重影响土壤有效养分释放能力^[2]。土壤结构性是土壤基本特性之一,土壤团聚体数量多少是衡量土壤肥沃的标志之一^[3],间接影响水分与养分特性,已经成为限制草甸土农业生产主要问题。耕作方式及秸秆还田均可以改善农田的土壤结构,调节农田土壤中的固、液、气三相比例,为作物生长发育以及作物的高产优产创造良好的条件^[4]。但由于耕地的常年机械化耕

作,导致土壤中形成一层坚实的犁底层,使得该层土壤间的缝隙变小,透气和渗水性能下降,土壤中的水、气、热之间交换不通畅,阻碍作物根系的生长发育,也影响农田土壤中微生物的生长,导致农田的肥力下降,最终造成作物的严重减产^[5]。不同耕作方式对土壤结构的形成具有较大的影响,同一母质发育的农田土壤往往因为耕作方式的不同,土壤结构之间也存在很大差异。而同一耕作方式,耕作深度对土壤的结构也表现出很大的影响,不同的耕作深度对耕层和犁底层的影响不同,对土壤结构造成影响也不相同。因此,探究耕作方式与耕作深度对土壤结构的影响显得尤为重要。

不同耕作措施也会导致土壤结构性季节变化的差异性^[6-7]。以往对耕作的研究多侧重于某一时间段整体变化,分析讨论多年后对土壤理化性状及产量等因素的影响,而针对土壤结构性状在一年中、不同耕层的季节变化研究则较少^[8],尤其是针对我国东北草甸土的研究更是鲜有报道。本研究通过田间定位试验,探讨不同耕作方式与秸秆还田下典型旱地草甸土结构性状的季节动态变化,从时间和空间尺度上,筛选当季最佳的耕作方

收稿日期:2019-04-01

基金项目:国家粮食丰产增效项目(2016YFD0300806);黑龙江省重点基金(ZD2016008);黑龙江省级资助项目(GX18B013)。

第一作者简介:孟祥海(1985-),男,硕士,研究实习员,从事土壤肥料与秸秆资源利用研究。E-mail:mengxianghai538@163.com。

通讯作者:李玉梅(1971-),女,博士,研究员,从事土壤与肥料研究。E-mail:liyumeiwxyl@126.com。

式,并分析比较不同耕作方式下土壤容重和团聚体的变化规律,为今后土壤结构性改良和确定合理的耕作培肥技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在黑龙江省牡丹江市温春镇黑龙江省农业科学院牡丹江分院试验地(N44. 60', E129. 58')进行,该区属于中纬度温带大陆性季风气候,年平均太阳辐射总量为 120 kCal·cm⁻²,海拔 250.6 m,年平均气温 5.0℃,降雨主要集中在 6-8 月,年平均降雨量 500~600 mm 左右,常年农业以旱作农业为主,年平均日照总时数 2 295.1 h,无霜期 141 d,年平均蒸发总量 1 262.3 mm,年平均相对湿度 66%,平均活动积温 2 300~2 500℃,属于二、三积温带。土壤类型为草甸土,质地为壤质粘土,田间持水量平均为 25.5%,饱和土壤含水量平均为 37.2%,容重 1.36 g·cm⁻³,有机质 33.28 g·kg⁻¹,全氮 1.51 g·kg⁻¹,全磷 0.71 g·kg⁻¹,全钾 2.53 g·kg⁻¹,碱解氮 117.6 mg·kg⁻¹,速效磷 19.2 mg·kg⁻¹,有效钾 235 mg·kg⁻¹,pH7.63。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2016 年 10 月至 2017 年 10 月进行,共设置 6 个处理,分别为免耕(NT)、浅翻 20 cm(ST)、深翻 35 cm(DT)、免耕秸秆覆盖(NT-S)、浅翻秸秆还田 20 cm(ST-S)、深翻秸秆还田 35 cm(DT-S)。每小区面积 234 m²,采用随机区组排列,3 次重复。

试验于 2016 年秋季进行秋整地,在玉米收获后利用 6B1404 约翰迪尔(六缸)拖拉机+灭茬机(1JH-350 型秸秆粉碎还田机),将联合收割机灭茬的基础上,继续将玉米根茬口和未粉碎的秸秆继续二次灭茬,将玉米秸秆粉碎 5~10 cm,然后利用 7M-2204 约翰迪尔拖拉机+德国雷肯液压五铧翻转犁(EurO pa18/5 型),将秸秆耕翻埋于不同深度(20,35 cm)土层中(作业牵引机械动力务必在 130 马力以上,翻耕深度方可达到预期标准)。免耕(NT)为生育期内不进行任何机械压实和耕翻,采用免耕机种植;免耕秸秆覆盖(NT-S)是在免耕(NT)基础上,进行全部秸秆覆盖。

试验期间不进行任何灌溉,供试玉米品种为益农玉 10 号,播种量为 30 kg·hm⁻²,株距是 25 cm,行

距 65 cm,种植密度为 6.0 万~7.0 万株·hm⁻²。氮肥选用尿素(N 46%),磷肥选用磷酸氢二铵(N 18%,P₂O₅ 46%),钾肥选用氯化钾(K₂O 60%)。所有处理的施肥、品种及其他管理措施(耙地、旋地、起垄、播种镇压、除草和防病等)均相同^[9],各处理施肥量为 N=160 kg·hm⁻²、P₂O₅=115 kg·hm⁻²、K₂O=90 kg·hm⁻²,即底肥 50 kg·hm⁻² 尿素、250 kg·hm⁻² 磷酸氢二铵、150 kg·hm⁻² 氯化钾,追肥 200 kg·hm⁻² 尿素。

1.2.2 测定项目与方法 在玉米生长不同时期(播期、拔节期、大喇叭口期、成熟期),分别采集 0~10,10~20,20~30,30~40,40~50 cm 土层土样,进行土壤含水量、土壤容重与团聚体测定。土壤含水量测定采用烘箱烘干法^[10],土壤容重测定采用环刀法,土壤团聚体测定采用干筛法。土壤容重(RS)为单位体积田间原状土壤烘干重(g·cm⁻³),此方法允许平均绝对误差<0.03 g·cm⁻³,取算数平均值。

$$RS(g \cdot cm^{-3}) = G - 100/V + (100 + W)$$

式中, G 为环刀内湿土重(g); V 为环刀容积(cm³); W 为样品含水量(%)。

土壤团聚体测定采用筛分法^[11],根据土壤大团聚体在水中的崩解情况识别其水稳定性程度,测定分干筛和湿筛两个程序进行,最后筛分出各级水稳定性大团聚体,分别称其质量,再换算为占土样的质量百分数。

$$W_{Gi} = mi/m \times 100$$

式中, W_{Gi} 为某级非水稳定性大团聚体的质量百分数(%); mi 为该级非水稳定性大团聚体的风干质量(g); m 为风干土的质量(g)。

1.2.3 数据分析 试验数据用 Excel 2007 进行处理^[12],SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 耕作与秸秆还田方式对土壤容重变化的影响

不同耕作方式对土壤容重变化有一定的影响。由图 1(a-c)可见,不同耕作方式下,生育期内土壤容重随土壤深度增加均表现出明显差异性。喇叭口期和成熟期内,ST 处理(浅翻 20 cm)与 DT 处理(深翻 35 cm)对土壤 0~30 cm 层次内与免耕方式相比均不同程度的降低了土壤容重,但生育期内二者差异性不明显。相反拔节期内,NT

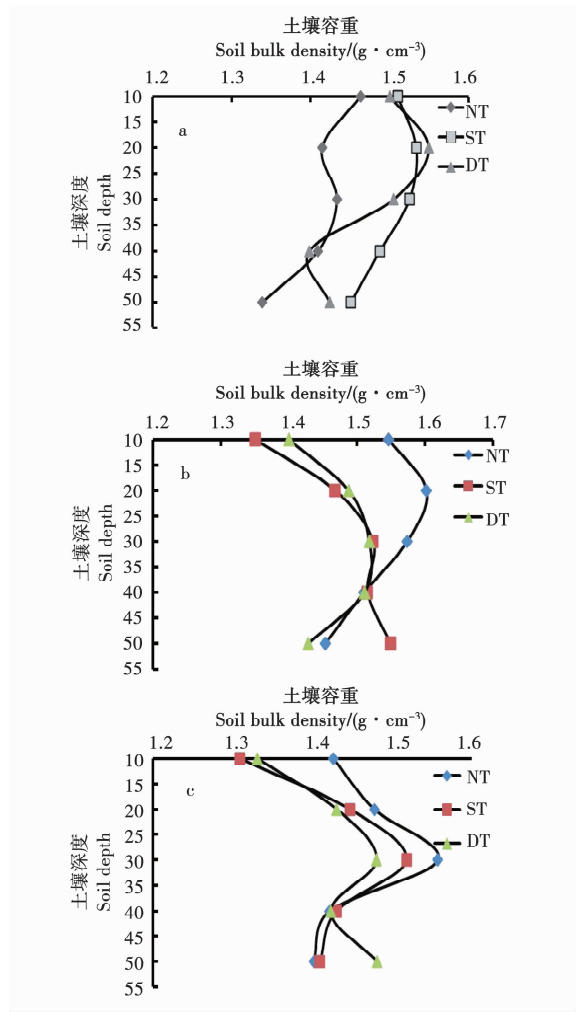


图 1 翻耕方式下拔节期(a)、大喇叭口期(b)及成熟期(c)土壤容重变化

Fig. 1 Changes of soil bulk density at jointing with tillage(a), and large bell stage(b), and maturity horn(c)

处理土壤容重随深度增加有降低的趋势,ST 和 DT 处理 0~30 cm 土壤容重均高于 NT 处理,说明拔节期以前土壤容重受中耕施肥和除草机械作业影响较大,而 40~50 cm 土壤容重受机械作业影响较小,均低于耕层 0~20 cm。NT、ST 和 DT 处理均在 20~30 cm 处土壤容重达到最大,且均在 40~50 cm 处土壤容重达到最小值,分别为 1.41,1.50,1.44 g·cm⁻³。

同一土层下,不同生育期内土壤容重在 不同耕作方式作用下也表现出明显差异。同一土层内,不同耕作方式(ST 和 DT)0~30 cm 土壤容重均随着生育期逐渐降低,成熟期达到最低,分别为 1.34 和 1.36,降幅达 12.99%和 11.11%,不同生育期内变化差异性显著($P<0.05$);而 40~50 cm 土层范围内 NT 和 DT 处理土壤容重大喇叭口期达到最大值,分别为 1.45 和 1.51 g·cm⁻³,增幅分别为 4.38%和 3.97%。NT 处理除免耕机作业外无任何外界机械作用力干扰,表现为同一土层季节变化差异性不明显,但大喇叭口期土壤容重与拔节期和成熟期相比,达到差异显著水平($P<0.05$),说明大喇叭口期土壤容重受玉米根系作用影响较大。

由表 1 和图 2 可知,秸秆还田下,不同耕作方式对土壤容重的影响差异较大。拔节期 0~50 cm 土壤平均容重以 NT-S 处理最小为 1.444 g·cm⁻³,30 cm 处土壤容重最高,为 1.503 g·cm⁻³,50 cm 处土壤容重最低,为 1.372 g·cm⁻³,同时均低于大喇叭口期和成熟期 ST-S、DT-S 处理的土壤容重,各处理的土壤容重在成熟期达到最低,说明秸

表 1 翻耕与秸秆还田不同生育期土壤容重变化

Table 1 Changes of bulk density at different stage with tillage and straw returning

生育时期 Growth period	拔节期 Jointing stage			大喇叭口期 The bell-bottoming stage			成熟期 Maturing stage		
深度/cm	NT-S	ST-S	DT-S	NT-S	ST-S	DT-S	NT-S	ST-S	DT-S
10	1.464 b	1.534 a	1.541 a	1.439 d	1.500 a	1.464 b	1.37 c	1.283 c	1.246 d
20	1.451 b	1.46b	1.561 a	1.506 b	1.559 a	1.552 a	1.381 c	1.487 b	1.365 c
30	1.503 a	1.506 a	1.549 a	1.471 c	1.57 a	1.447 b	1.52 a	1.524 a	1.528 b
40	1.428 c	1.519 a	1.517 b	1.53 a	1.541 a	1.571 a	1.424 b	1.517 a	1.556 a
50	1.372 d	1.451 b	1.467 c	1.455 c	1.513 a	1.564 a	1.413 b	1.52 a	1.533 b
平均值	1.444	1.494	1.527	1.48	1.537	1.52	1.422	1.466	1.446

数据后不同字母表示处理间达差异显著($P<0.05$)。下同。
Different letter after data indicate significant differences at 0.05. The same below.

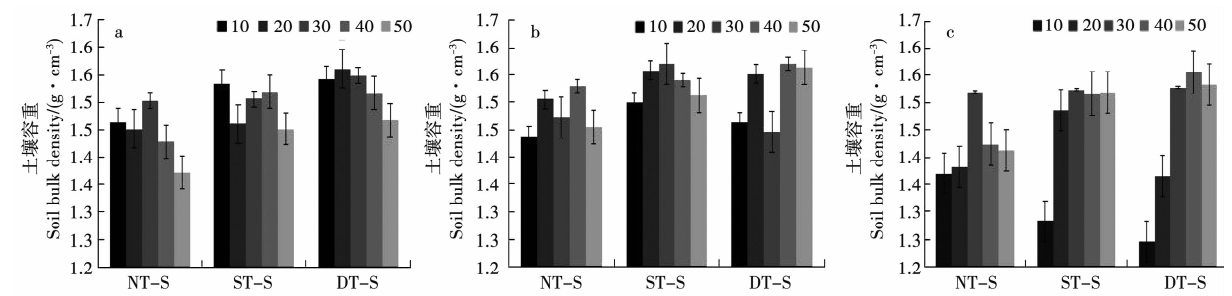


图2 翻耕与秸秆还田拔节期(a)、大喇叭口期(b)和成熟期(c)土壤容重变化
Fig.2 Changes of bulk density at different stage with tillage and straw returning at jointing(a), bell-bottoming(b), and maturing(c) stages

秆覆盖及深翻、浅翻还田均可以在当季生于后期降低土壤容重,且差异性达到显著水平($P<0.05$)。从同一耕作方式的不同生育期数值来看,NT-S处理可以有效降低0~20 cm土壤容重,降低幅度为4.83%~6.16%,对30~50 cm土壤容重影响不大。ST-S处理对0~10 cm土壤容重降低最大为16.34%,相反对20~50 cm土壤容重有明显提高作用。DT-S处理对0~20 cm处土壤容重有降低作用,降低幅度在12.81%~18.81%,对30~50 cm土层影响不大。综合比较,DT-S处理在优化耕层0~20 cm孔隙度,降低

土壤容重有重要作用。
2.2 耕作与秸秆还田方式对土壤团聚体变化的影响

由表2可知,NT免耕处理、ST浅翻处理与DT深翻处理均表现为>10 mm的团聚体数量最多,分别在19.16%~39.44%、25.42%~36.26%、26.23%~33.68%,NT处理的>10 mm团聚体数量最大,随土层深度增加该团聚体数量呈递减趋势。不同处理的各粒级团聚体数量随土层加深分布趋势基本一致,土层间团聚体数量差异性显著($P<0.05$)。ST处理是浅翻20 cm秸秆不还田

表2 0~50 cm土层不同粒径土壤机械稳定性团聚体分布
Table 2 Soil aggregate size distribution at 0~50 cm depth

处理 Treatments	土层 Soil layer/cm	不同粒径土壤团聚体分布 Distribution of soil aggregate/%									
		<0.106	[0.106~ 0.250)	[0.250~ 0.500)	[0.500~ 1.000)	[1.000~ 2.000)	[2.000~ 3.0000)	[3.000~ 5.000)	[5.000~ 7.000)	[7.000~ 10.000)	≥10
NT	10	0.40 d	1.82 a	4.37 b	6.01 c	10.03 c	1.45 b	13.59 b	8.69 d	16.59 b	37.09 b
	20	1.65 a	0.83 d	3.18 d	4.77 d	7.98 d	0.90 d	12.02 c	11.38 c	17.87 a	39.44 a
	30	1.66 a	1.10 c	2.66 d	6.45 c	12.38 b	2.03 a	14.09 a	12.95 b	15.98 c	30.73 d
	40	0.93 c	1.19 b	3.81 c	8.23 b	14.24 a	1.58 b	11.77 d	11.27 c	14.72 d	32.28 c
	50	1.15 b	1.22 b	5.73 a	12.08 a	12.76 b	1.17 c	14.27 a	16.56 a	15.95 c	19.16 e
ST	10	1.70 b	1.75 a	5.99 a	6.94 c	11.80 c	1.14 c	12.02 c	12.63 a	14.99 b	36.26
	20	0.90 d	1.18 b	4.79 b	7.97 b	12.16 b	1.48 b	13.41 b	12.49 a	16.64 a	31.03 b
	30	0.75 d	1.11 b	6.15 a	8.26 b	10.81d	1.15 c	14.76 a	11.51 b	15.51 b	28.99 c
	40	1.21 c	0.94 b	6.36 a	8.58 b	13.52 a	1.43 b	13.63 b	12.73 a	16.19 a	29.99 c
	50	2.09 a	1.10 b	6.90 a	9.84	10.64 d	1.79 a	13.08 b	12.63 a	15.06 b	25.42 d
DT	10	1.01 a	1.22 b	6.26 a	7.19 a	9.56 b	1.25 b	13.30 c	12.27 b	16.71 c	31.22 b
	20	1.19 a	1.68 a	5.59 b	5.41 b	11.27 a	1.29 b	14.21 b	11.31 c	17.59 b	30.46 b
	30	0.58 b	1.82 a	5.03 b	5.90 b	11.13 a	1.88 a	14.06 b	10.35 d	15.56 c	33.68 a
	40	1.60 a	1.92 a	6.22 a	6.48 a	11.66 a	1.74 a	15.35 a	12.24 b	16.55 c	26.23 d
	50	1.25 a	1.04 b	5.13 b	5.96 b	11.19 a	1.87 a	13.76 c	13.49 a	18.75 a	27.55 c

处理,与 NT 处理 20 cm 相比0.106~7.000 mm 土壤团聚体数量有不同程度增加,其中以 0.5~1.0 mm 团聚体数量增加最为明显。ST 和 DT 处理<0.106 mm 团聚体数量均大于 NT 处理,说明深翻和浅翻处理可以增加 0~10 cm 土层内<0.106 mm团聚体数量。同时 0.106 mm 团聚体数量在 40~50 cm 土层范围内深翻和浅翻处理效果与 NT 相比增加也达到了极显著水平($P<0.01$),而对其它粒径的团聚体数量影响不明显。

不同耕作方式下,NT 处理中土壤团聚体中有 51.67%~68.69%的团聚体为>5 mm 粒级团聚体,以<0.25 mm 粒级团聚体所占比例最小 2.12%~2.76%;ST 处理中土壤团聚体中有 53.11%~63.88%的团聚体为>5 mm 粒级团聚体,以<0.25 mm 粒级团聚体所占比例最小 1.86%~3.45%;DT 处理中土壤团聚体中有 55.02%~60.20%的团聚体为>5 mm 粒级团聚体,以<0.25 mm 粒级团聚体所占比例最小 2.23%~3.52%。

表 3 0~50 cm 土层不同粒径土壤机械稳定性团聚体分布
Table 3 Soil aggregate size distribution at 0~50 cm depth

处理 Treatments	土层 Layer/cm	不同粒径土壤团聚体分布 Distribution of soil aggregate/%				
		<0.25	[0.25~1)	[1~2)	[2~5)	>5
NT 免耕	10	2.22 c	10.37 c	10.03 c	15.03 c	62.36 b
	20	2.47 b	7.95 e	7.98 d	12.92 e	68.69 a
	30	2.75 a	9.11 d	12.38 b	16.12 a	59.66 c
	40	2.12 d	12.04 b	14.24 a	13.35 d	58.27 c
	50	2.365 c	17.80 a	12.76 b	15.43 b	51.67 d
ST 浅翻	10	3.45 a	12.93 c	11.80 b	13.16 d	63.88 a
	20	2.07 b	12.75 c	12.16 b	14.89 c	60.16 b
	30	1.86 d	14.41 b	10.81 c	15.91 a	56.01 d
	40	2.15 b	14.93 b	13.52 a	15.06 b	58.90 c
	50	3.19 a	16.74 a	10.64 c	14.87 c	53.11 e
DT 深翻	10	2.24 c	13.45 a	9.56 c	14.55 c	60.20 a
	20	2.86 b	11.00 c	11.27 b	15.50 b	59.36 c
	30	2.40 c	10.93 c	11.13 b	15.94 b	59.59 b
	40	3.53 a	12.70 b	11.66 a	17.09 a	55.02 d
	50	2.30 c	11.09 c	11.19 b	15.63 b	59.79 b
2016 年	10	2.26 c	11.79 e	6.74 e	11.80 b	67.41 a
	20	3.38 b	21.17 a	11.48 b	11.12 c	52.85 d
	30	3.68 a	18.74 b	9.29 c	11.69 b	56.60 c
	40	1.94 d	17.51 c	12.73 a	16.07 a	51.75 e
	50	1.51 e	15.24 d	8.14 d	15.82 a	59.30 b

ST 和 DT 处理<0.25 mm 团聚体数量多于 NT 处理(30 cm 除外),说明深翻和浅翻处理可以增加 0~20 cm 及 40~50 cm 土层内<0.25 mm 团聚体数量;同时 0.25~1.00 mm 团聚体数量在 0~40 cm 土层范围内深翻和浅翻处理效果也好于 NT 处理,而对其他粒径的团聚体数量影响不明显。秸秆还田下,不同耕作方式土壤团聚体数

量变化趋势与秸秆不还田下基本一致。与上一年相比,2.000~5.000 mm 团聚体数量增加最为明显,NT-S、ST-S、DT-S 相比去年增加 7.98%、8.87%、8.13%,其次是 1.000~2.000 mm 团聚体数量同比去年分别增加了 3.71%、13.64%、18.91%,>5.000 mm 团聚体数量分别增加了 3.42%、4.82%、4.73%。ST-S、DT-S 处理与

NT-S 相比,0.250~1.000 mm 团聚体数量有所减少,尤其是以 ST-S 处理减少最多,为 49.04%,说明机械作业时可以减少 0.250~1.000 mm 团聚体数量,且浅翻比深翻 0.250~1.000 mm 团聚体结构性破坏大。

表 4 0~50 cm 土层不同粒径土壤机械稳定性团聚体分布
Table 4 Soil dry sieving aggregate size distribution at 0~50 cm depth

处理 Treatments	土层 Soil layer/cm	不同粒径土壤团聚体分布 Distribution of soil aggregate/%				
		<0.25	[0.25-1)	[1-2)	[2-5)	>5
NT-S	10	2.82 c	11.22 e	8.68 c	14.00 c	63.27 a
	20	4.81 a	12.70 c	10.23 b	14.51 a	57.76 d
	30	2.11 d	14.84 a	10.51 b	14.62 a	57.94 d
	40	2.65 c	13.42 b	8.80 c	14.41 a	60.74 b
	50	4.02 b	11.63 d	11.99 a	14.28 b	58.08 c
	平均值	3.28	12.76	10.04	14.36	59.56
ST-S	10	2.50 b	7.01 b	12.71 a	14.35 c	56.83 d
	20	1.43 c	4.75 e	9.21 c	14.72 b	65.65 a
	30	2.39 b	5.63 d	11.57 b	15.01 a	60.97 c
	40	3.18 a	6.42 c	8.79 c	13.96 d	61.48 b
	50	2.25 b	8.70 a	12.71 a	14.36 c	56.85 d
	平均值	2.35	6.50	11.00	14.48	60.36
DT-S	10	2.66 c	9.09 d	11.16 c	14.94 a	62.13 a
	20	2.78 c	10.08 c	12.04 a	14.61 b	60.48 b
	30	1.94 d	11.14 b	10.70 d	14.12 c	62.12 a
	40	3.60 b	11.57 a	11.44 b	14.97 a	58.41 c
	50	5.02 a	11.12 b	12.20 a	13.27 d	58.39 c
	平均值	3.20	10.60	11.51	14.38	60.31

同一耕翻方式,无论秸秆还田与否,不同粒级团聚体的波动性变化趋势一致。可见,土壤团聚体的机械稳定性受耕作方式影响较大。与 2016 年相比,免耕与耕作前土壤团聚体分布更接近,均在>1.000 mm 粒级处出现高峰,而 ST 与 DT 处理的波动性变化比较接近,NT 处理在 40~50 cm 土层的 0.500~1.000 mm 和 3.000~5.000 mm 粒径土粒含量明显高于 ST 与 DT 处理。

3 讨论

3.1 耕作与秸秆还田方式对土壤容重变化的影响

不同耕作方式下,生育期内土壤容重随土壤

深度增加均表现出明显差异性。ST 和 DT 处理 0~40 cm 土层拔节期前土壤容重均高于 NT 处理,呈现 NT<DT<ST,说明拔节期以前土壤容重受中耕施肥和除草机械作业影响较大,而 40~50 cm 土壤容重均低于耕层 0~20 cm 受机械作业影响较小。NT 处理除免耕机作业外无任何外界机械作用力干扰,表现为同一土层季节变化差异性不显著,但大喇叭口期土壤容重与拔节期和成熟期相比,达到差异性显著水平($P<0.05$),说明大喇叭口期土壤容重受玉米根系作用影响较大。不同耕翻与秸秆还田方式下,土壤容重均在 20~30 cm 土层较高,平均 $1.51\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 免耕秸秆覆盖,0~50 cm 土层平均容重($1.42\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$),比

DT-S 和 ST-S 减少 $0.03 \sim 0.05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; 免耕秸秆覆盖降低土层容重, $0 \sim 30 \text{ cm}$ 土层 ST-S 比 DT-S 增加 $0.05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, $30 \sim 50 \text{ cm}$ 土层, 趋势相反; 说明浅翻会造成犁底层上移, $0 \sim 30 \text{ cm}$ 容重增加, 而深翻增加了 $30 \sim 50 \text{ cm}$ 土层容重。NT-S、DT-S 处理在优化耕层 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 孔隙度, 降低土壤容重有重要作用。

3.2 耕作与秸秆还田方式对土壤团聚体变化的影响

有研究发现, 土壤机械稳定性大团聚体含量上升是由土壤有机质含量的增加和胶结物质的改变所致^[13]。本研究秸秆还田 2 年, 秸秆的腐殖化作用微弱, 但本试验结果表明: 深翻和浅翻处理可以增加 $0 \sim 50 \text{ cm}$ 土层内 $<0.250 \text{ mm}$ 团聚体数量; 不同耕作方式土壤团聚体数量变化趋势与秸秆不还田下基本一致, 机械作业时可以减少 $0.250 \sim 1.000 \text{ mm}$ 团聚体数量, 且浅翻比深翻 $0.250 \sim 1.000 \text{ mm}$ 团聚体结构性破坏要大, 说明土壤团聚体的机械稳定性受耕作方式影响较大。

4 结论

不同耕作与培肥方式下, 土壤容重均在 $20 \sim 30 \text{ cm}$ 土层较高, 平均 $1.51 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; 不同耕作方式, $0 \sim 40 \text{ cm}$ 土层拔节期前 $\text{NT} < \text{DT} < \text{ST}$; 大喇叭口期至成熟期, NT 容重增加; 成熟期 $0 \sim 30 \text{ cm}$ 土层, 深翻 ($1.45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 与浅翻 ($1.44 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 无差异, $30 \sim 50 \text{ cm}$ 土层, 深翻容重 ($1.48 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 略有增加。

免耕秸秆覆盖 $0 \sim 50 \text{ cm}$ 土层平均容重 ($1.42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), 比 DT-S 和 ST-S 减少 $0.03 \sim 0.05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; $0 \sim 30 \text{ cm}$ 土层, ST-S 比 $> \text{DT-S}$ 增加 $0.05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, $30 \sim 50 \text{ cm}$ 土层, 趋势相反。浅翻会造成犁底层上移, $0 \sim 30 \text{ cm}$ 容重增加, 而深翻增加了 $40 \sim 50 \text{ cm}$ 土层容重。

不同耕作方式下, 团聚体分布不同。 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 质地为粉砂质粘土, $40 \sim 50 \text{ cm}$ 为粘土, 其余土层为壤质粘土; 免耕与耕作前土壤团聚体分布更接近, 均在 $>1.000 \text{ mm}$ 粒级处出现高峰, 而 ST 与 DT 处理的波动性变化比较接近, NT 处理在 $40 \sim 50 \text{ cm}$ 土层的 $0.500 \sim 1.000$ 和 $3.000 \sim 5.000 \text{ mm}$ 粒径土粒含量明显高于 ST 与 DT

处理。

同一耕作方式, 无论秸秆还田与否, 不同粒级团聚体的波动性变化趋势一致。

本研究草甸土质地为壤质粘土, 受成土母质类型影响, 土壤砂性较强; 加之长期连作及不科学施肥, 土壤有机质逐年下降, 肥力降低明显, 且土壤(酸碱性)呈现碱化趋势。研究表明该种土壤结构受外界环境影响较大, 因此以秸秆还田进行土壤培肥为前提, 构建合理的深、浅、免耕相结合的耕作措施, 是提高土壤肥力, 优化土壤结构和稳定粮食高产的前提。

参考文献:

- [1] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 121-125.
- [2] 孔凡磊, 陈卓, 张海林, 等. 轮耕对土壤物理性状和冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 150-155.
- [3] 赵金花, 张丛志, 张佳宝. 农田生态系统中土壤有机碳与团聚体相互作用机制的研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(35): 152-157.
- [4] 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(1): 103-106.
- [5] 聂良鹏, 郭利伟, 牛海燕, 等. 轮耕对小麦-玉米两熟农田耕层构造及作物产量与品质的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(3): 468-478.
- [6] Mccaty G W, Lyssenko N N. Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition[J]. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62(6): 1564-1571.
- [7] Franzluebbers A J, Hons F M, Zuberer D A. Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO_2 evolution, water content, temperature, and bulk density[J]. Applied Soil Ecology, 1995, 2(2): 95-109.
- [8] 陈强. 作方式对黑土理化性状季节变化的影响[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016.
- [9] Derpsch R, Franzluebbers A J, Duiker S W, et al. Why do we need to standardize no-tillage research? [J]. Soil & Tillage Research, 2014, 137: 16-22.
- [10] 鲍士旦. 农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 22-24.
- [11] 孙鸿烈, 光崧. 壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [12] 霍志军. 田间试验与生物统计[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 88-105.
- [13] 刘京, 常庆瑞, 李岗, 等. 连续不同施肥对土壤团聚性影响的研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(4): 24-26.

Effects of Different Farming Methods on the Soil Structure of Meadow Soil

MENG Xiang-hai¹, LI Yu-mei², WANG Gen-lin³, WANG Li-zhu¹, SHAO Guang-zhong¹, HU Ying-hui¹, SUN Yin-hui¹, ZHANG Qing-na¹

(1. Mudanjiang Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang 157000, China; 2. Institute of Soil Fertilizer and Environmental Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. Institute of Animal Husbandry, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to promote soil structure improvement, the effects of different tillage and straw mulching methods on the seasonal dynamic changes of soil aggregates and soil bulk density in typical upland meadow soils were studied through field location experiments on time and space scales. The results showed that under different tillage and fertilizer cultivation methods, the bulk density of soil was higher in the soil layer of 20-30 cm, with an average of $1.51 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Different tillage methods, 0-40 cm soil layer $\text{NT} < \text{DT} < \text{ST}$ before jointing stage. NT bulk density increased from bell-mouthed stage to mature stage. There was no difference between deep ($1.45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) and shallow ($1.44 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) in the 0-30 cm soil layer at maturity stage, but the bulk density of deep ($1.48 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) in the 30-50 cm soil layer increased slightly. The average bulk density ($1.42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) in the 0-50 cm soil layer was decreased by $0.03\text{-}0.05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ compared with DT-S and ST-S. In the 0-30 cm soil layer, st-s increased by $0.05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ compared with $>\text{DT-S}$, and the trend was opposite in the 30-50 cm soil layer. Shallow turning will cause the bottom layer of plough to move upward, and the bulk density of 0-30 cm will increase, while deep turning will increase the bulk density of 40-50 cm soil layer. The texture of 10-20 cm was silty clay, 40-50 cm was clay, and the remaining soil layer was loamy clay. The distribution of soil aggregates was closer to that of soil aggregates before no-tillage and tillage, and they all peaked at $>$ and 1 mm grain size, while the fluctuation of ST and DT treatment was close, and the content of soil particles with particle size of 0.5-1.0 and 3.0-5.0 mm in the soil layer with NT treatment was significantly higher than that of ST and DT treatment. The distribution of aggregates was different under different tillage methods. Longitudinal comparison showed that the variation trend of aggregates with different grain size was consistent with the same tillage method, no matter whether straw was returned to the field or not. It can be concluded that the mechanical stability of soil aggregates is greatly affected by tillage methods. Although the influences of short-term tillage and straw mulching on soil physical and chemical properties change from year to season, they provide scientific basis for the comprehensive supporting measures such as tillage and fertilizer cultivation in agricultural production.

Keywords: meadow; soil structure; tillage; straw return

(上接第 3 页)

Effects of Leaf Damage on Growth and Yield of Maize at Seedling Stage

WANG Yu-xian, YU Hai-lin, DONG Yang, LIU Yu-tao, YANG Hui-ying, XU Ying-ying, GAO Pan, ZHAO Lei

(Qiqihar Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China)

Abstract: In order to explore the response of leaves in maize seedlings after injury, the effects of leaf damage on maize growth and yield at different seedling stages were studied by artificial simulation. The results showed that, when the leaves of maize were damaged at seedling stage, the proline and malondialdehyde in damaged leaves were positively correlated with leaf age and damage degree; At the early stage, the index of plant height and leaf area per plant was affected greatly, the effect was less at maturity. There was a negative correlation between the damage period and the degree of damage and the yield.

Keywords: maize; seedling stage; leaf; damage