

耕作方式对旱地红壤物理特性的影响

张丽娜¹, Asenso Evans¹, 张陆勇¹, 田凯¹, 杨丹彤², 李就好¹

(1. 华南农业大学 水利与土木工程学院, 广州 510642; 2. 华南农业大学 工程学院, 广州 510642)

摘要:通过田间试验研究了旋耕(RT)、深松(SS)、免耕(NT)3种耕作方式对南方旱地红壤物理特性的影响。试验采用随机区组设计,每处理重复三次,旋耕深度为20 cm,深松深度为40 cm。结果表明:与免耕相比,旋耕和深松降低了土壤密度和硬度,增加了土壤孔隙度。旋耕主要减少了5~10 mm风干土的团聚体数量,从而降低了大团聚体的稳定性,对土壤扰动较大。深松处理在0.25~5 mm粒径范围内团聚体含量最大,土壤团聚性好。不同耕作方式下土壤含水量由高到低的顺序为:免耕>深松>旋耕。深松处理可显著改善深层土壤结构,进而提高耕层土壤贮水潜力。随着土层加深,各处理土壤密度和硬度增大,孔隙度减小。收获后各处理土壤密度较播种前有不同程度的增加,孔隙度有所减小,经过一个生育期,各处理间差异呈减小趋势。结合该地区的土壤和生产条件,建议采用深松处理。

关键词:土壤物理; 耕作方式; 保护性耕作; 红壤

中图分类号:S151.9

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)03-0046-05

Effects of Tillage Methods on the Physical Characteristics of Red Soil of Upland

ZHANG Lina¹, Asenso Evans¹, ZHANG Luyong¹, TIAN Kai¹, YANG Dantong², LI Jiuhao¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, South China Agricultural University,

Guangzhou 510642, China; 2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The field experiment was conducted to study the effects of rotary tillage (RT), subsoiling (SS) and no-tillage (NT) on the physical characteristics of red soil of upland in southern China. The effects of tillage methods were studied in a randomized complete block design with three replications. The depth of rotary tillage was 20 cm and the depth of subsoiling was 40 cm. The results showed that RT and SS reduced the soil bulk density and penetration resistance, increased soil porosity, RT mainly reduced the content of 5~10 mm dry soil aggregate, thereby the stability of large aggregates was poor and the soil disturbance was larger; SS resulted in the highest content of 0.25~5 mm aggregates and the good soil agglomeration structure; soil moisture contents decreased in the order: NT>SS>RT; SS significantly improved the deep soil structure, and then improved the soil water storage capacity. The soil bulk density and penetration resistance increased, whilst the porosity decreased with the increase of soil depths. The soil bulk density of each treatment increased, and the porosity decreased after harvest compared with before sowing, the difference among treatments decreased after the growth period. With respect to the soil and production conditions in the study area, SS is considered to be the best way to improve soil physical characteristics.

Keywords: soil physics; tillage method; conservation tillage; red soil

农田土壤是农业可持续发展的物质基础,土壤质量直接影响作物的生长和产量。由于不同土壤在土壤特性方面也存在差异,可通过农机具的机械力量作用于土壤,调整耕作层和地面状况,以调节土壤水分、空气、温度和养分的关系,为作物播种、出苗和生长发育提供适宜土壤环境^[1]。传统耕作方法对土壤进行

多次耕翻,造成一个疏松的耕层,导致土壤结构稳定性下降,易产生水土流失和严重风蚀等一系列问题。与传统耕作相比,免耕可以改善土壤结构,控制土壤侵蚀,在全球得以广泛应用^[2]。但是长期实施免耕使得耕层变浅、下耕层土壤容重增加、土壤变紧实,特别是黏质土壤,从而影响作物生长发育^[3-4]。

收稿日期:2017-10-29

修回日期:2017-11-20

资助项目:国家重点研发计划“农机作业对土壤质构及作物生长影响机理研究”(2016YFD0700301)

第一作者:张丽娜(1993—),女,甘肃靖远人,硕士研究生,从事农业水土环境保护相关领域的研究。E-mail:zhangln-en@qq.com

通信作者:李就好(1963—),男,江西万年人,博士生导师,教授,从事农业工程相关领域的研究。E-mail:jhli@scau.edu.cn

目前,国内外学者对于耕作方式与土壤特性关系的研究较多。孙涛^[5]对东北寒地黑土区的保护性耕作研究指出,秸秆覆盖在改善黑土理化性质方面较为突出,但产量较低,留茬免耕不仅可以改善土壤理化性质,而且经济效益高,不影响产量,为该地区最适宜的耕作方式。李娟等^[6]在黄土高原暖温带半湿润易旱区的轮耕试验表明,秸秆覆盖下免耕/深松处理模式对于提高土壤蓄水保墒能力和作物增产效果最好。许迪等^[7]在华北平原地区试验表明,深松明显地减少了耕层土壤的干容重、增加了孔隙度,改善了土壤饱和时土壤的水分传导性能,但干旱时土壤的持水能力相对减弱。可见,随着保护性耕作研究和应用不断深入,耕作制度的区域适应性特征愈发明显。因此,开展不同地区,不同土壤条件,不同耕作方式下土壤质量的综合评价具有重要意义。

红壤是我国热带亚热带地区主要的土壤资源,一般质地黏重,保水性差。因此,本文针对南方地区旱地红壤的特点,在大田生产条件下对比研究旋耕、深松和免耕对土壤物理性质的影响规律,为明确适于该地区推广应用的合理耕作方式提供理论依据。

表 1 试验区土壤物理特性					
土层 深度/cm	质地/%			土壤密度/ (g·cm ⁻³)	硬度/ kPa
	黏粒(<0.002 mm)	粉粒(0.002~0.05 mm)	砂粒(0.05~2 mm)		
0—10	21.3a	38.0a	40.7a	1.14c	2956b
10—20	21.3a	35.7b	43a	1.30b	4504a
20—30	22.7a	35.3b	42a	1.55a	5178a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($p<0.05$),下同。

表 2 试验区土壤肥力特征								
土层 深度/cm	pH 值	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
0—10	4.77a	24.49a	1.43a	0.80a	9.16ab	118.81a	96a	179.92a
10—20	4.72a	17.62b	1.12b	0.52b	9.31a	87.15ab	29.33b	132.92a
20—30	4.67a	11.58c	0.76c	0.37b	8.07b	66.37b	16.20b	122.10a

1.2 试验设计

试验采用田间分区的方法,设置旋耕(RT)、深松(SS)、免耕(NT)3种耕作处理方式,其中旋耕深度20 cm左右,深松深度40 cm左右。供试作物为玉米,为当地主推玉米品种新美甜818,人工播种,行距0.5 m,株距0.32 m。采用随机区组设计,每处理重复三次,共9个小区,每小区面积为1.5 m×100 m=150 m²。播种时施硫酸钾型复混肥料12 000 kg/hm²作为基肥,在播种后15 d和30 d分别追施225 kg/hm²和300 kg/hm²。各处理田间管理措施均相同。

1.3 田间土壤样品采集与测试

每小区随机选取3个点,于耕作前、播种前及收获后用取土钻按采样深度0—10 cm,10—20 cm,20—30

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点设在广东省连平县五丰泰农业投资股份有限公司农场,位于北纬24°9′25″,东经114°23′43″,海拔121 m,该地区属于中亚热带季风气候,日照雨量充沛,降水季节明显,年平均气温为18.0~20.7℃,年均日照总时数为1 659.8 h,年平均降水量为1 779.7 mm,从3月份开始,雨量逐渐增多,5月、6月份为降水最集中期,而且强度大,易引起山洪暴发,8月份以后降水逐渐减少,若无台风调节,则易产生秋旱,甚至秋、冬、春连旱。年平均湿度为79%,历年平均霜期日数为65 d。

该地区土壤类型为红壤,经取样测定,其物理特性见表1,肥力特征见表2。从表中可以看出,试验区土壤质地为粉(砂)壤土,土壤呈酸性,参照全国第二次土壤普查标准^[8]得出,土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷含量处于中等较缺乏水平,全钾含量缺乏,有效磷和速效钾含量处于中等较丰富水平,且随着土层深度增加,土壤养分含量均有所降低。

cm 分层取原状土壤,以供室内测定土壤物理性质指标,并同时测定土壤硬度。土壤硬度采用TYD-2型土壤硬度计现场测定,在每个小区选择3个测点,每10 cm土层深度记录一次,测定深度为30 cm。

采用环刀法测定土壤密度,烘干法测定质量含水量,根据测定的土壤密度值计算土壤孔隙度,其中土粒密度采用比重瓶法测定,测得的平均值为2.68 g/cm³。土样风干后,采用干筛法测定每个粒级的土壤团聚体含量,计算平均重量直径MWD^[9]。

本文数据均采用Excel和SPSS软件进行统计分析和作图,用Duncan法对试验数据进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 耕作方式对土壤密度的影响

土壤密度是土壤物理性质的主要指标之一,适宜的土壤密度有利于土壤的透气以及作物根系的生长。表 3 为测得的不同耕作条件下播种前和收获后土壤密度的情况,从表中可以看出,在播种前,旋耕处理使得表层(0—10 cm)土壤较疏松,土壤密度迅速下降,较免耕处理降低了 8.0%;10—20 cm 土层,旋耕和深松处理土壤密度均显著($p<0.05$)低于免耕处理,分别降低了 16.4%和 17.9%;20 cm 以下,深松明显降低了底层土壤密度,较旋耕和免耕处理分别降低了 11.0%和 21.8%。

在收获后,各土层土壤密度要相对高于播种前,这是由于经过一个生育期,土壤在其自身重力作用下发生自然沉降、以及降雨等其他因素的影响^[4],使得土壤密度有所增加^[10]。其中免耕处理土壤密度仅在表层增加幅度较大,受外界影响较大,在下层(10—30 cm)略微有所增加。收获后各耕作处理表层(0—10 cm)土壤密度并无显著差异,而深松处理下层(10—30 cm)土壤密度显著($p<0.05$)低于免耕,分别下降了 9.6%和 13.9%;旋耕处理下层土壤密度较免耕分别下降了 5.5%和 11.4%;由于土壤的自重密实作用,耕作处理间差异呈减小趋势。

表 3 不同耕作方式下土壤密度在播种前、

收获后的变化 g/cm^3

取样时间	耕作方式	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm
耕作前		1.14	1.36	1.55
	旋耕	1.04a	1.17b	1.37b
播种前	深松	1.09a	1.15b	1.22c
	免耕	1.13a	1.40a	1.56a
	旋耕	1.28a	1.38ab	1.40ab
收获后	深松	1.25a	1.32b	1.36b
	免耕	1.29a	1.46a	1.58a
	旋耕	23.08	17.95	2.19
对比/%	深松	14.68	14.78	11.48
	免耕	14.16	4.29	1.28

2.2 耕作方式对土壤水分的影响

土壤水分是作物生长和生存的物质基础,对作物各器官的生长发育和产量有很大的影响。合理的耕作方式能够充分利用自然降水、发挥土壤的生产能力。表 4 为测得的不同耕作条件下播种前和收获后土壤质量含水量的情况,从表中可以看出,耕作方式对玉米播种前土壤含水量影响较大,由高到低依次表现为免耕>深松>旋耕。免耕处理各土层土壤含水量均显著高于其他处理,在整个土层(0—30 cm)的平均含水量较旋耕和

深松增加了 28.8%,19.7%。旋耕和深松在整个土层的土壤含水量较耕作前有所降低,分别降低了 18.2%和 12.0%;而免耕处理土壤含水量较耕作前增加了 5.3%。

耕作方式对玉米收获后土壤含水量影响不大,深松处理整个土层的平均土壤含水量略高于其他处理。比较不同深度土壤含水量的变化可知,免耕土壤含水量随土层加深呈下降趋势,旋耕和深松呈先上升后下降的趋势,在 10—20 cm 土层含水量达到最高,贮水量较多。比较不同时期土壤含水量的变化可知,收获后旋耕和深松处理各土层土壤含水量较播种前均有所增加,增加幅度较大;而免耕在 0—20 cm 土层土壤含水量较播种前有所增加,增加幅度较小,在 20—30 cm 有所下降。从整体上看,免耕在整个作物生育期内土壤含水量变化幅度小,基本维持在 15%~18%,能有效抑制土壤水分损失,保证作物需水关键期的供水量。

表 4 不同耕作方式下土壤质量含水量在

播种前、收获后的变化 %

取样时间	耕作方式	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm
耕作前		15.54	16.18	17.21
	旋耕	12.13b	13.41b	14.49c
播种前	深松	12.61b	14.84b	15.58b
	免耕	16.42a	17.07a	18.04a
	旋耕	18.12a	18.29a	17.45a
收获后	深松	18.09a	18.65a	17.32a
	免耕	17.82a	17.51a	17.21a
	旋耕	49.38	36.39	20.43
对比	深松	43.46	25.67	11.17
	免耕	8.53	2.58	-4.60

2.3 耕作方式对土壤孔隙度的影响

土壤孔隙度直接影响土壤中水、热、溶质、气体运动及作物根系的生长。对旱作土壤来说,其耕层孔隙度在 50%或稍大于 50%较好^[11]。表 5 为不同耕作条件下播种前和收获后土壤孔隙度的情况,从表中可以看出,不同耕作方式下土壤孔隙度大小均表现为深松>旋耕>免耕,且土壤孔隙度随土层加深呈下降趋势,形成上虚下实的耕层结构,有利于水分入渗,增加土壤“库容”。播种前,各处理表层(0—10 cm)土壤孔隙度相差不大,其中旋耕处理土壤孔隙度大于 60%;在 10—20 cm 土层,免耕处理孔隙度下降幅度较大,低于 50%,较旋耕和深松分别下降了 14.9%和 16.1%;在 20—30 cm 土层,深松土壤孔隙度最大,旋耕次之,免耕土壤孔隙度达到最低,为 41.9%。

收获后各处理土壤孔隙度较播种前呈下降趋势,与土壤密度变化趋势相反,其中旋耕处理在 0—20 cm 土

层下降幅度最大,20—30 cm 土层下降幅度明显变小;深松在整个土层的下降幅度较一致;免耕在整个土层的下降幅度最小,说明经过一个生育期,土壤逐渐变紧实。收获后,在 0—10 cm 土层,耕作方式对土壤孔隙度影响不大;10—30 cm 土层,深松处理土壤孔隙度要高于旋耕和免耕,与免耕差异显著。此时,除深松外,其余处理的平均土壤孔隙度均低于 50%。

表 5 不同耕作方式下土壤孔隙度在播种前、收获后的变化 %

取样时间	耕作方式	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm
耕作前		57.4	49.2	42.1
	旋耕	61.3a	56.3a	49.0b
播种前	深松	59.2a	57.1a	54.7a
	免耕	57.8a	47.9b	41.9c
收获后	旋耕	52.1a	48.5ab	47.6ab
	深松	53.3a	50.8a	49.1a
	免耕	51.9a	45.4b	41.2b
	旋耕	—15.09	—13.64	—2.86
对比	深松	—10.04	—11.04	—10.14
	免耕	—10.23	—5.20	—1.53

2.4 耕作方式对土壤团聚体组成的影响

良好的土壤结构主要是团粒结构,在一定程度上标志着土壤肥力水平,对协调土壤肥力状况和土壤空气、改善耕性、稳定土壤温度等有着重要作用^[12]。粒径在 0.25~10 mm 的团聚体含量越高,说明土壤团聚性越好;而<0.25 mm 的微团聚体是机械稳定性较差的团聚体,其含量占比越高,表明土壤愈分散,易

影响水分入渗,增加土壤侵蚀,还容易形成沙尘天气。平均重量直径(MWD)是反映土壤团聚体大小分布状况的常用指标。MWD 值越大表示团聚体的平均粒径团聚度越高,稳定性越强^[13]。

表 6 为播种前不同耕作条件下各深度风干土的团聚体的组成情况,从表中可以看出,各粒径含量在不同土层深度中表现规律性不强。不同耕作方式下,<0.25 mm 团聚体的含量变化为旋耕>深松>免耕,旋耕较深松和免耕分别增加了 40.7%,47.1%,差异显著($p<0.05$)。旋耕处理在粒径范围为 5~10 mm 的团聚体含量显著低于免耕,略低于深松,这说明旋耕主要减少了 5~10 mm 的团聚体数量。>10 mm 团聚体含量表现为旋耕>免耕>深松,在 0.25~5 mm 粒径范围内深松处理团聚体含量均高于其他处理。不同耕作方式下 MWD 的变化为免耕>旋耕>深松,旋耕和深松处理使土壤团聚体的稳定性有所下降,平均重量直径较免耕分别降低了 4.0%,17.0%,但各处理间差异并不显著。大团聚体的粘合剂是暂时的,而微团聚体的粘合剂是持久的,耕作处理对暂时过渡性的粘合剂影响比对持久性的影响要大,因此更易对大团聚体产生影响^[14]。旋耕对土壤结构的扰动较大,土壤团聚体被粉碎,导致 0.25~10 mm 团聚体数量减少,而深松并不会翻转土层,扰动较小。免耕不受人为破坏,使土壤各级团聚体在各种自然因素作用下形成,结构性稳定。

表 6 播种前不同耕作方式下各粒径团聚体含量 %

处理	土层/ cm	团聚体粒径/mm							平均重量直径
		>10	10~5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	<0.25	
旋耕	0—10	6.3	14.1	27.1	14.1	15.5	8.8	14.2	3.32
	10—20	16.0	18.1	24.7	11.0	11.5	7.1	11.5	4.92
	20—30	16.9	15.8	23.8	9.9	12.9	8.6	12.0	4.85
深松	0—10	9.8	18.8	27.6	13.8	13.8	7.6	8.7	4.19
	10—20	4.7	21.9	28.6	13.0	14.8	8.3	8.9	3.68
	20—30	6.1	14.9	29.2	13.3	17.0	10.4	9.1	3.44
免耕	0—10	6.9	19.2	29.2	11.2	14.7	8.4	10.4	3.82
	10—20	13.7	25.6	23.7	10.7	11.9	6.4	8.1	5.08
	20—30	12.3	21.9	26.5	12.1	12.8	7.3	7.2	4.73
平均	旋耕	13.1a	16.0b	25.2a	11.7a	13.3a	8.2a	12.6b	4.36a
	深松	6.9a	18.5ab	28.5a	13.3a	15.2a	8.7a	8.9a	3.77a
	免耕	11.0a	22.2a	26.5a	11.3a	13.2a	7.3a	8.5a	4.54a

2.5 耕作方式对土壤硬度的影响

土壤硬度是反映土壤物理性质的重要指标,也是影响作物生长的重要因素,合理的耕作管理是调控土壤硬度的有效手段^[15]。表 7 为不同耕作条件下播种前和收

获后土壤硬度的情况,从表中可以看出,播种前,旋耕和深松处理显著降低了土壤硬度,其中深松平均土壤硬度最低,为 260 kPa。在 0—20 cm 土层,旋耕和深松处理土壤硬度下降幅度差异不大;在 20—30 cm 土层,旋耕土壤

硬度明显增加,与深松差异显著,这与旋耕深度有关。免耕处理未对土壤进行扰动,整个土层的土壤硬度都相对较高,与其他处理之间差异显著。深松处理在0—30 cm土层内土壤硬度下降幅度比较一致,可以局部打破犁底层,改善深层土壤结构,从而降低土壤硬度,有利于作物根系生长^[16]。

收获后,旋耕和深松处理土壤硬度较播种前均有所增加,但是相比耕作前,各处理土壤硬度仍有所下降,分别下降了37.1%,39.9%和2.1%。该时期旋耕和深松各土层土壤硬度显著低于免耕,平均土壤硬度较免耕分别下降了35.7%,38.6%。比较不同土层的土壤硬度变化可知,随着土层加深,各处理土壤硬度都随之明显增加。

表7 不同耕作方式下土壤硬度在播种前、

取样时间	耕作方式	收获后的变化			
		0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	平均
耕作前		2956	4504	5178	4213
	旋耕	119b	329b	4267b	1572b
播种前	深松	252b	238b	289c	260c
	免耕	3153a	4583a	5191a	4309a
	旋耕	1556b	2480b	3913b	2650b
收获后	深松	1364b	2448b	3783b	2532b
	免耕	2857a	4354a	5156a	4122a

3 结论

(1) 旋耕和深松均具有降低土壤密度和硬度的效果,从而增加了土壤孔隙度,特别是在10—30 cm土层各耕作处理之间差异显著。其中深松处理还可显著改善深层土壤结构,进而提高了耕层土壤贮水潜力,在后期具有较高的土壤含水量。深松处理在0.25~5 mm粒径范围内团聚体含量最大,说明其土壤团聚性好。免耕处理在播种前土壤含水量最高,能有效抑制土壤水分损失,同时免耕在初期试验有增加土壤密度的趋势。旋耕处理使得>0.25 mm团聚体数量显著减少,主要表现在减少了5~10 mm的团聚体数量,从而降低了大团聚体的稳定性。

(2) 就不同时期对比而言,收获后各处理土壤密度及硬度较播种前都有不同程度的增加,孔隙度有所减小。随着土壤自重密实作用和外界环境条件的影响,各处理间的差异逐渐减小,其中免耕处理整个生育期变化幅度较小,能够维持稳定的土壤结构。就不同土层对比而言,土壤密度和硬度均随着土层加深而增加,孔隙度随着土层加深而减小。

综上所述,结合该地区长年的生产条件,采用深松

处理可创造良好的耕层结构,有利于降水入渗蓄水和作物根系生长。然而,本研究中的试验数据仅能反映一个玉米生育期耕作初期效应,部分结论仍需进一步研究。

本试验得到广东省连平县五丰泰农业投资股份有限公司农场职工的大力支持,保证试验的顺利开展,在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 赵洪利,李军,贾志宽,等.不同耕作方式对黄土高原旱地麦田土壤物理性状的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):17-21.
- [2] Toyakawa H, Triplett G B, Dick W A. No-tillage crop production: A revolution in agriculture[J]. Agronomy Journal, 2008,100:153-165.
- [3] 孙国峰,张海林,徐尚起,等.轮耕对双季稻田土壤结构及水贮量的影响[J].农业工程学报,2010,26(9):66-71.
- [4] 龚冬琴,吕军.连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响[J].生态学报,2014,34(2):239-246.
- [5] 孙涛.不同耕作方式及施肥对黑土理化性质的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2008.
- [6] 李娟,王丽,李军,等.轮耕对渭北旱塬玉米连作系统土壤水分和作物产量的影响[J].农业工程学报,2015,31(16):110-118.
- [7] 许迪, Schmid R, Mermoud A. 夏玉米耕作方式对耕层土壤特性时间变异性的影响[J].水土保持学报,2000,14(1):64-70.
- [8] 田雨,庄莹,曹义,等.雾灵山低山区土地利用类型对土壤理化性质的影响[J].水土保持研究,2012,19(6):41-44.
- [9] 全国农业技术推广服务中心.土壤分析技术规范[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [10] 雷金银,吴发启,王健,等.保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2008,24(10):40-45.
- [11] 龚振平.土壤学与农作学[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [12] 杨如萍,郭贤仕,吕军峰.不同耕作和种植模式对土壤团聚体分布及稳定性的影响[J].水土保持学报,2010,24(1):252-256.
- [13] 王益.黄土高原土壤结构性状及影响因素分析[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [14] Tistall J H, Oades R D. Organic matter and water-stable aggregates in soils[J]. Journal of Soil Science, 1982,27:44-181.
- [15] 王丽学,姜熙,李勇,等.保护性耕作对农田土壤水蚀及土壤紧实度的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(2):83-85.
- [16] 张有利,李娜,王孟雪,等.不同整地方式对风沙土玉米地土壤紧实度的影响[J].水土保持研究,2015,22(1):97-99.