

不同机械耕作方式对茶园土壤物理性状的影响

张永利, 廖万有*, 王焯军, 苏有健, 孙力

(安徽省农业科学院茶叶研究所, 祁门 245600)

摘要: 通过田间试验研究不同机械耕作方式对茶园土壤物理性状的影响。设置免耕(MG)、高地隙多功能茶园管理机械卧式旋耕(WX)、立式旋耕(LX)、深松铲耕(SS)和小型茶园翻耕机翻耕(FG)5种耕作方式, 分析其对茶园0~45 cm土壤紧实度、容重和固、液、气三相比的影响。结果表明, 与免耕对土壤物理性状的影响相比, 深松铲耕处理对0~30 cm土壤紧实度的降低作用最好, 卧式旋耕处理对30~45 cm土壤紧实度的降低作用最好; 卧式旋耕、立式旋耕处理对0~15 cm土层土壤容重、孔隙度、三相比的改善作用最好, 翻耕处理对15~30 cm土层土壤容重、孔隙度、三相比的改善作用最好。可见, 高地隙多功能茶园管理机械的最佳耕作方式为卧式旋耕, 在不适宜大型机械作业的茶园, 选用小型茶园翻耕机亦可达到较好的耕作效果。

关键词: 茶园机械; 耕作方式; 土壤容重; 三相比; 土壤紧实度

中图分类号: S152; S341

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2015)06-0873-06

Effects of different tillage modes on physical properties of tea garden soil

ZHANG Yongli, LIAO Wanyou, WANG Yejun, SU Youjian, SUN Li

(Tea Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Qimen 245600)

Abstract: In order to study the influence of different tillage modes on physical properties of tea garden soil, five different tillage modes were adopted in a field experiment. They were no-till (MG), horizontal rotary tillage (WX) by the high-clearance self-propelled multi-function tea farm manager (HSM), vertical rotary tillage by HSM (LX), subsoiling by HSM (SS), and plowing by a mini-type cultivation management machine (FG). Effects of different tillage modes on soil compactness, soil bulk density and three-phase ratio of soil in the 0-45 cm soil layers in tea garden were analyzed after the 27-day experiment. The results showed that compared with the effect of MG on soil physical properties, SS and WX had the best effect on reducing the soil compactness in 0-30 and 30-45 cm soil layer, respectively. WX and LX showed the best result on improving soil bulk density, porosity, and three-phase ratio in 0-15 cm soil layer. While FG showed the best on improving soil bulk density, porosity, and three-phase ratio in 15-30 cm soil layer. Therefore, the best tillage mode for high-clearance self-propelled multi-function tea farm management is horizontal rotary tillage. In tea gardens where the large-scale machinery is not applicable, the mini-type cultivation management machine is a better choice and can bring a desirable effect.

Key words: tea garden machinery; tillage mode; soil bulk density; three-phase ratio of soil; soil compactness

土壤物理性状会造成土壤水、气和热的差异, 影响土壤中矿质养分的供应状况, 从而影响茶树的生长发育、产量和品质。土壤容重与绿茶叶品质呈强负相关^[1], 氨基酸^[2]、咖啡碱与容重呈负相关, 茶多酚、水浸出物与容重呈正相关^[3], 茶叶氨基酸总量、咖啡碱与总孔隙度呈极显著正相关, 水浸出物、茶多酚呈显著负相关^[4]。我国农村劳动力不断

转移, 茶园面积继续盲目扩大, 茶园作业用工占茶叶生产用工的80%以上, 亟需实现茶园作业机械化。近年来, 茶园耕作机械得到了一定的发展, 新型茶园作业机械不断出现^[5-6]。而机械耕作是从本质上改变土壤的物理化学性状, 进而影响茶树的生长发育以及茶叶品质^[7], 但不同的机械耕作方式对土壤物理性状的影响存在差异^[8-9], 需要研究评价。因此,

收稿日期: 2015-04-16

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-23-03A)资助。

作者简介: 张永利, 助理研究员。E-mail: zh042zy1@126.com

* 通信作者: 廖万有, 研究员。E-mail: lwanyou@126.com

本研究拟通过田间耕作试验,研究高地隙多功能茶园管理机和小型茶园翻耕机等新型田间耕作机械在秋季茶园中的耕作效果,以期探索一种能改善茶园土壤物理性状的合理的耕作机械和耕作方式。通过分析各类机械田间耕作对茶园土壤容重和土壤固、液、气三相比、土壤紧实度的影响,评价不同耕作方式对茶园土壤物理性状的改善效果。

1 材料与方法

1.1 供试材料

秋季茶园田间耕作试验于2012年8—9月在江苏农林职业技术学院茅山茶场试验基地进行。该基地地处江苏省句容市,属亚热带季风气候,四季分明,日照充足,无霜期长,雨量充沛,气候条件比较优越,土壤质地为重壤土至轻粘土,土壤肥力中等,土壤母质多为层次深厚的下蜀系黄土。茅山茶场创建于1958年,现有茶园1100亩,主要种植本地鸠坑等老品种茶叶,试验茶园采用双行条栽,大行距1.5 m,小行距1.2 m。供试高地隙多功能茶园管理机械为农业部南京农业机械化研究所研制的高地隙自走式茶园多功能管理机,可以横跨茶棚驶入狭窄的茶行间进行作业,每次可同时耕作2个茶行,该机悬挂配置两组卧式旋耕刀辊,则为卧式旋耕;该机悬挂配置两组立式旋耕刀辊,用于中耕除草作业,为立式旋耕;悬挂配置两组振动式深松作业部件,用于茶树根部的深松作业,为深松铲耕^[10]。小型茶园翻耕机为农业部南京农业机械化研究所和无锡华源凯马发动机有限公司共同研制的KM3CG-50茶田翻耕管理机,2个耢犁,每次翻耕1行。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验设置5个处理:免耕(MG)、高地隙多功能茶园管理机械卧式旋耕(WX)、立式旋耕(LX)、深松铲耕(SS)和小型茶园翻耕机翻耕(FG)。3次重复,随机区组设计,每个处理4行,中间2行为取样测试区,两边为保护行,每行128 m,小区面积691.2 m²。

1.2.2 测定指标与方法 耕作前和耕作后27d用土壤紧实度仪(TJSD-750,浙江托普仪器公司)测定0~15 cm、15~30 cm和30~45 cm的土壤紧实度。用环刀取0~15 cm和15~30 cm土壤样品,每小区3点,同时用铝盒取相同土层的土壤,带回实验室称环刀和鲜土总重,用烘干法测铝盒中土壤含水量,计算土壤容重。将称重后的环刀内的土壤样品取出,捏碎后剔除根系杂物,风干后过1 mm筛,用比重

瓶法测定土壤比重。计算得到土壤总孔隙度和土壤三相比,其中,土壤总孔隙度=1-容重/比重;土壤固相率=土壤容重/土壤比重;土壤液相率=土壤含水量×土壤容重;土壤气相率=土壤总孔隙度-土壤液相率。机械耕作后立即测定实际耕作深度和耕作宽度,将直尺插入耕沟,量取耕深,耕沟两侧间的距离为耕宽。

1.2.3 数据处理 试验数据采用Excel 2003软件进行处理及作图,采用SPSS 19.0软件进行方差分析,采用Duncan多重比较法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同机械耕作方式的耕作深度和宽度

茶园秋季不同机械耕作性能的测试结果表明(表1),高地隙多功能茶园管理机卧式旋耕(WX)、立式旋耕(LX)和小型茶园翻耕机翻耕(FG)耕作均较浅,约11~12 cm,而高地隙多功能茶园管理机深松铲(SS)耕深达到20 cm以上,极显著高于其他3种机械耕作方式。高地隙机械在耕宽方面具有优势,尤其是卧式旋耕(WX),平均耕宽达51 cm,极显著高于立式旋耕(LX),而立式旋耕极显著高于小机具翻耕(FG)。此外,茶园行间平整度和操作人员的作业水平直接影响各种机械的田间耕作效果。

表1 不同机耕方式的平均耕深和耕宽

Table 1 The average tillage depth and width of different tillage modes cm

耕作方式 Tillage mode	耕深 Tillage depth	耕宽 Tillage width
WX	11.5±0.5 ^{bb}	51.0±0.4 ^{aa}
LX	12.3±0.7 ^{bb}	36.3±0.8 ^{bb}
SS	20.3±1.1 ^{aa}	/
FG	12.2±0.6 ^{bb}	31.9±0.8 ^{cc}

注:不同小写字母表示处理间具有显著性差异($P < 0.05$),不同大写字母表示具有极显著差异($P < 0.01$),下同。

Note: Different lowercase letters mean significant differences among treatments at the 0.05 level, and capital letters mean significant differences among treatments at the 0.01 level. The same below.

2.2 不同耕作方式对茶园土壤紧实度的影响

土壤紧实度是影响植物生长和作物产量的重要指标,是土壤对外界垂直穿透力的反抗力^[11],直接关系到耕作阻力、作物出苗及根系生长发育^[12]。耕作前0~45 cm茶园土壤紧实度随深度增加而增加,0~15 cm、15~30 cm和30~45 cm土壤紧实度平均值分别为970.9 kPa、1935.8 kPa和2797.1 kPa;耕前

30~45 cm 土壤紧实度存在空间差异, FG 处理显著低于 WX、LX 处理 (图 1a)。耕后第 27 天各耕作方式 0~45 cm 土壤紧实度如图 1b 所示, 可以看到, 与 MG 相比, 不同耕作方式对 0~15 cm 土层紧实度均有改善效果, 其中 WX 和 SS 处理作用显著, FG 处理的降低作用较为明显; 不同耕作方式耕后 15~30 cm 土壤紧实度无显著性差异; WX 和 FG 处理可显著降低 30~45 cm 土壤紧实度, 其中 WX 处理 30~45 cm 土壤紧实度显著低于 MG 和 LX 处理, FG 处理显著低于其他 4 种耕作方式。

各耕作方式下耕作后土壤紧实度的增幅见表 2, 增幅为耕作后和耕作前数值之差。结果表明: MG 处理各层土壤紧实度与耕前相比均有所增加,

土层越深增幅越大; 5 种耕作方式耕作后 0~15 cm 土壤紧实度的增幅依次为 MG>LX>FG>WX>SS, FG、WX、SS 处理的增幅极显著低于 MG 处理, 且 3 种耕作方式间差异极显著; 增幅依次为 LX>WX>MG>FG>SS, LX 处理的增幅极显著高于 MG 处理, SS、FG 处理极显著低于 MG; 耕作后 30~45 cm 土壤紧实度的增幅依次为 MG>SS>LX>WX>FG, 与 MG 处理的增幅相比, 4 种耕作方式均使 30~45 cm 土壤紧实度降低, 其中 SS、LX 和 WX 处理间差异极显著, WX、FG 处理间差异不显著。总体来看, 与 MG 处理相比, FG、SS 处理下耕作对 0~45 cm 土壤紧实度的降低作用均较显著。

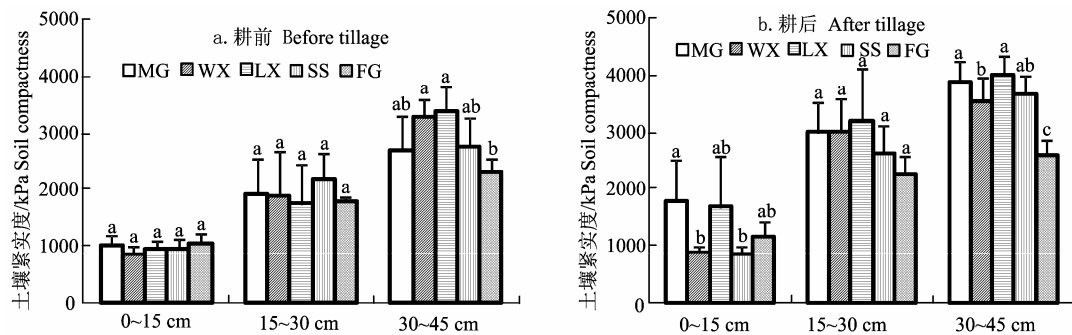


图 1 不同耕作方式下耕作前后 0~45 cm 茶园土壤紧实度

Figure 1 Soil compactness in 0 - 45 cm soil layers before and after tillage under different tillage modes

表 2 不同耕作方式耕后茶园土壤紧实度增幅

Table 2 The changes of tea garden soil compactness under different tillage modes

处理 Treatment	土壤紧实度增幅 The changes of soil compactness kPa		
	0~15 cm	15~30 cm	30~45 cm
MG	785.3±39.5 ^{aA}	1090.9±57.9 ^{bB}	1204.2±60.2 ^{aA}
WX	14.7±1.0 ^{cC}	1129.1±48.4 ^{bB}	271.1±12.4 ^{dD}
LX	753.3±26.2 ^{aA}	1439.1±70.0 ^{aA}	641.9±28.7 ^{cC}
SS	-104.1±4.6 ^{dD}	455.4±38.6 ^{cC}	902.1±96.4 ^{bB}
FG	130.9±6.3 ^{bB}	466.8±25.7 ^{cC}	297.9±19.1 ^{dD}

2.3 不同机耕方式对茶园土壤容重和孔隙度的影响

土壤容重是反映土壤紧实程度、孔隙状况等结构性特征的重要指标, 它影响到土壤的孔隙度与孔隙度大小分配以及土壤的穿透阻力^[13], 可对茶树根系生长发育、茶园土壤微生物活动、土壤酶活性产生影响, 从而影响茶叶产量和品质。不同耕作方式耕作前和耕作后土壤容重如图 2 所示。可以看到, 耕作前不同处理土壤容重存在差异, 耕作后各处理差异增大, 但均不显著, 这可能与试验进行的时间较短有关。耕后 27 d 不同处理 0~15 cm 土壤容重为:

WX<LX<MG<SS<FG, 15~30 cm 土壤容重为: MG<FG<WX=SS<LX。因为试验茶园在耕作前土壤容重在空间上存在差异, 所以用耕作后土壤容重的增幅表示不同耕作方式对土壤容重的影响。耕作后 0~15 cm 土层土壤容重增幅为: MG、FG 处理接近于 0, WX、LX 处理为-0.08~-0.06 g·cm⁻³, SS 处理为 0.07 g·cm⁻³。耕作后 15~30 cm 土层土壤容重增幅为: MG、FG 处理为-0.09~-0.07 g·cm⁻³, SS 处理为-0.02 g·cm⁻³, WX、LX 处理接近于 0。由此可见: 与 MG 处理相比, WX、LX 处理可使 0~15 cm 土层容重稍有降低, 但使 15~30 cm 土层土壤容重稍有增加; SS 处理使 0~15 cm 和 15~30 cm 土层土壤容重均有所增加; FG 处理对土壤容重影响较小。这是因为高地隙多功能茶园管理机械卧式旋耕 (WX) 和立式旋耕 (LX) 耕深较浅, 而高地隙多功能茶园管理机械整车重量 1500 kg, 机器自身的压力对土壤起到压实作用, 因此, WX、LX 处理仅对茶园表层土壤起到疏松作用, 使土壤容重降低; 深松铲耕 (SS) 仅耕至 20 cm, 且耕幅较窄, 而高地隙多功能茶园管理机械的履带宽度 24 cm, 行间机器的压实作用明显, 所以与 MG

相比, SS 处理使耕后 0~15 cm 和 15~30 cm 土壤容重均增加。

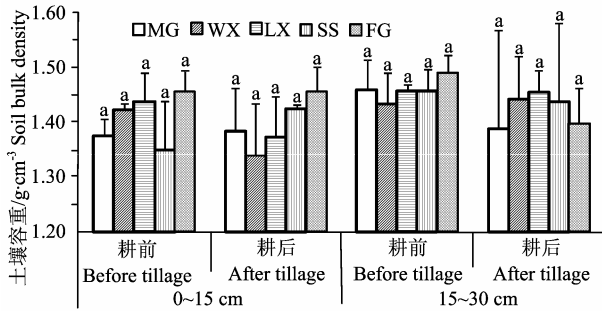


图 2 不同耕作方式耕作前和耕作后土壤容重

Figure 2 Soil bulk densities before and after tillage under different tillage modes

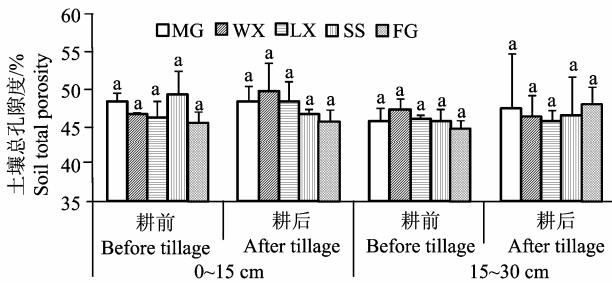


图 3 不同耕作方式耕作前和耕作后茶园土壤总孔隙度

Figure 3 Soil total porosity before and after tillage under different tillage modes

孔隙度是土壤物理性质的重要组成部分,它关系着土壤水、气、热的流通和贮存以及对植物的供应是否充分和协调^[14]。不同耕作方式耕作前和耕作后土壤总孔隙度如图3所示。耕前不同处理0~15 cm和15~30 cm土壤总孔隙度平均值分别为47.16%(变化范围45.41%~49.25%)和45.89%(变化范围44.76%~47.20%),虽然土壤总孔隙度在空间上有变异,但差异不显著。耕后27 d不同处理0~15 cm和15~30 cm土壤总孔隙度变化范围分别为45.68%~49.62%和45.77%~47.92%,各处理间土壤总孔隙度差异不显著。用耕作后土壤总孔隙度的增幅表示不同耕作方式对土壤总孔隙度的影响。耕作后0~15 cm土层土壤总孔隙度增幅依次为:WX处理2.94%,LX处理2.14%,FG处理0.27%,MG处理0.13%,SS处理-2.60%;耕作后15~30 cm土层土壤总孔隙度增幅依次为:FG处理为3.16%,MG处理1.66%,SS处理0.78%,LX处理-0.21%,WX处理-0.83%。由此可见:与MG处理下土壤总孔隙度的增幅相比,FG处理使0~15 cm和15~30 cm土层土壤总孔隙度分别增加0.13%、1.50%,提高了茶园土壤通气透水

能力,可以增强土壤微生物的活力,有利于根系活动;WX、LX处理可使0~15 cm土层总孔隙度增加2.81%、2.00%,使15~30 cm土层土壤总孔隙度降低2.49%、1.87%;SS处理使0~15 cm和15~30 cm土层土壤总孔隙度降低2.73%和0.88%,土壤通透性变差,不利于微生物和根系生长。

2.4 不同机耕方式对茶园土壤固、液、气三相比的影响

耕作前不同耕作处理15~30 cm土层土壤三相存在差异(图4),其中各处理15~30 cm土层的气相率和液相率差异显著。耕作后各处理0~15 cm土壤固相率为50.4%~54.3%,液相率为24.6%~28.6%,气相率为17.1%~24.6%;15~30 cm土壤固相率为52.1%~54.2%,液相率为28.8%~31.4%,气相率为14.4%~18.6%。耕作后各耕作方式下0~30 cm土壤固、液、气三相无显著性差异,因此用耕作后土壤三相的增幅分析不同耕作方式对土壤三相的影响。从不同耕作方式下耕作后茶园土壤三相的增幅(图5)可以看到,各处理耕作后0~15 cm土壤固相率与耕前相比变化不大,增幅在-2.9%~2.6%之间;各处理耕作后0~15 cm土壤液相率降低,增幅在-13.2%~-9.1%之间,其中LX、SS处理与耕前相比极显著降低,FG处理与耕前相比显著降低;土壤液相率和气相率一般呈现此消彼长的关系,因而不同机耕方式对土壤气相率的影响与对液相率影响趋势相反,各处理耕作后0~15 cm土壤气相率增加,增幅在9.2%~15.3%之间,其中MG、LX处理与耕前相比显著增加。各处理耕作后15~30 cm土壤固相率与耕前相比变化不大,增幅在-3.2%~0.8%之间;各处理耕作后15~30 cm土壤液相率降低,增幅在-11.0%~-6.0%之间,其中LX、FG处理与耕前相比极显著降低;各处理耕作后15~30 cm土壤气相率增加,增幅在5.2%~13.9%之间,其中LX、FG处理与耕前相比极显著增加。与MG处理耕作后土壤固、液、气相率的增幅相比,WX、LX处理下0~15 cm土壤固相率、液相率的降低作用和气相率的增加作用最大,SS处理下0~15 cm土壤固相率的增加作用和液相率的降低作用最大;FG处理下15~30 cm土壤固相率、液相率的降低作用和气相率的增加作用最大,WX处理下土壤固相率、液相率的增加作用和气相率的降低作用最大。因此,与MG处理相比,LX处理对0~15 cm土壤三相的改良作用最好,FG处理对15~30 cm土壤三相的改良作用最好。

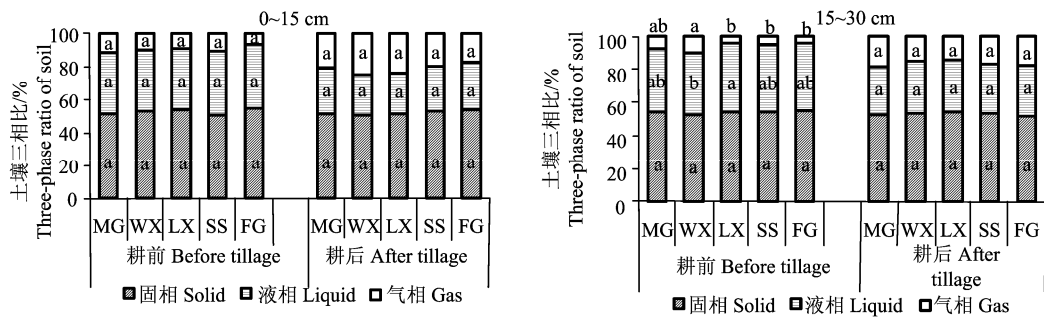


图 4 不同耕作方式耕作前和耕作后茶园土壤三相比

Figure 4 Three-phase ratio of tea garden soil before and after tillage under different tillage modes

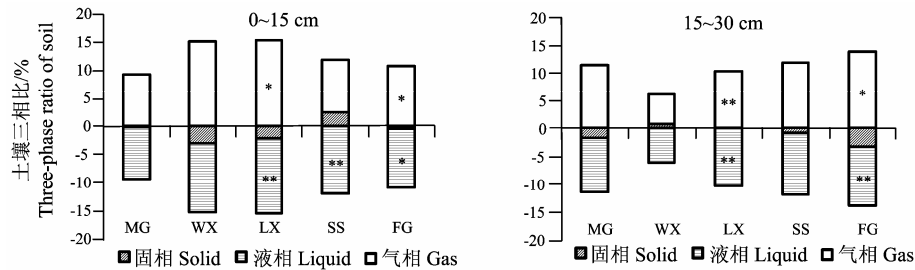


图 5 不同耕作方式下耕作后茶园土壤三相比的增幅

Figure 5 The changes of three-phase ratio of tea garden soil under different tillage modes

3 讨论

土壤是作物生长的基础, 土壤耕作是农业生产中的一个重要环节, 通过合理的土壤耕作措施可以改善耕层的土壤结构, 调节土壤固相、液相、气相的比例关系, 协调好土壤中水、肥、气、热等诸因素, 为作物生长发育、高产、优质创造良好的环境和条件。土壤紧实度是土壤含水量、密度、孔隙度以及土壤机械组成等的综合表现; 土壤容重大小反映土壤的结构状况, 预示着土壤水分和空气的运行和存在状态; 土壤孔隙度不仅影响土壤的通气状况, 而且反映土壤松紧度和结构状况的好坏; 土壤三相比反映土壤的松紧程度、充水和充气程度及水汽容量等^[15]。四者是衡量农田土壤物理性状重要指标。

通过田间试验发现: 与免耕处理 (MG) 下土壤物理性状指标的增幅相比, 高地隙多功能茶园管理机卧式旋耕 (WX) 使 0~15 cm 土层的土壤紧实度显著降低, 容重稍有降低, 总孔隙度增加, 固相率、液相率降低, 气相率增加; 使 15~30 cm 土层的土壤容重稍有增加, 总孔隙度降低, 固相率、液相率增加, 气相率降低。与免耕下土壤物理性状指标的增幅相比, 高地隙多功能茶园管理机立式旋耕 (LX) 对 0~15 cm 土层的土壤紧实度影响不大, 可使土壤容重稍有降低, 总孔隙度增加, 固相率、液相率降低, 气相率增加; 使 15~30 cm 土层的土壤

紧实度极显著增加, 容重稍有增加, 总孔隙度降低, 固相率增加, 液相率和气相率降低。可见高地隙多功能茶园管理机旋耕可以改善表层土壤物理性状, 但却使 15~30 cm 土层土壤结构和通透性变差。王恩姮等^[9]的研究表明中机械作业在耕作区 17.5~30 cm 范围内形成了新的土壤板结, 导致土壤性质呈恶化趋势, 表现为以压实作用为主, 这与本研究结果相一致。

与免耕 (MG) 下土壤物理性状指标的增幅相比, 高地隙多功能茶园管理机深松铲耕 (SS) 可使 0~15 cm 和 15~30 cm 土壤紧实度极显著降低, 土壤容重稍有增加, 土壤总孔隙度降低, 土壤固相率增加, 液相率降低, 可见深松铲耕 (SS) 耕作方式对土壤的压实作用明显, 主要是因为高地隙多功能茶园管理机的履带宽度有 24 cm, 耕幅却只有几厘米, 达不到改善土壤物理性状的目的。而吕巨智等^[16]的研究发现深松处理可以打破犁底层, 提高土壤含水量, 降低土壤容重, 增大土壤孔隙度, 有效改善土壤的物理结构, 这是因为在此研究中的深松机耕宽 1.8 m, 耕深 25~35 cm, 重量 450 kg, 可见该机械自重较小, 耕宽和耕深较大, 耕作效果好, 因此, 不同耕作机械同一耕作方式的耕作效果有很大差异。

与免耕 (MG) 下土壤物理性状指标的增幅相比, 小型茶园翻耕机翻耕 (FG) 使 0~15 cm 和 15~30 cm 土壤紧实度极显著降低, 容重略有降低, 总

孔隙度增加,固相率、液相率降低,气相率增加,这与前人研究结果一致^[17-18],可见翻耕处理可以改善土壤结构,调节土壤三相比,提高土壤的通气透水能力。

本研究中高地隙多功能茶园管理机3种耕作方式对0~15 cm土壤容重、孔隙度的改善效果为卧式旋耕(WX)>立式旋耕(LX)>深松铲耕(SS),对15~30 cm土壤容重、孔隙度的改善效果则相反。孔晓民等^[8]、梁金凤等^[19]的研究表明3种耕作方式对土壤容重、土壤紧实度或土壤含水量的影响为深松耕作>传统旋耕>免耕,这与本研究结果不同,说明机械耕作对土壤物理的影响效果受耕作方式、耕作机械、耕作参数、土壤本身等诸多因素的影响。因此,需要结合实际生产情况,选择合适的耕作机械,进行合理的耕作措施,方能改善茶园土壤物理性状,促进微生物活动和茶树根系的生长,从而达到节省茶农劳力、增加茶园产量、提高茶叶品质的目的。

4 结论

高地隙多功能茶园管理机械和凯马茶园翻耕管理机在秋季茶园的耕作效果显示:SS处理对0~30 cm土壤紧实度的降低作用最好,WX处理对30~45 cm土壤紧实度的降低作用最好;WX、LX处理对0~15 cm土层土壤容重、孔隙度、三相比的改善作用最好,FG处理对15~30 cm土层土壤容重、孔隙度、三相比的改善作用最好。由于目前高地隙茶园多功能管理机械的实际耕作深度在15 cm左右的技术限制,导致大机械耕作仅对茶园0~15 cm土层有一定的改善效果,要真正解决茶园机械的耕作质量,需从机械性能上进一步攻关。针对现有茶园耕作机械对土壤各项物理性状改善效果的综合分析,认为高地隙多功能茶园管理机械的卧式旋耕方式耕作效果较好,考虑到机械作业成本及茶园立地条件的限制,高地隙多功能茶园管理机械的耕作优势暂不明显。在不适宜大型机械作业的茶园,选用小型茶园翻耕机亦可达到较好的耕作效果。

参考文献:

[1] 黎星辉,黄启为,唐和平.土壤地球物理化学特征对名优茶品质的影响[J].湖南农业大学学报,1996,22(6):

542-546.

- [2] 张家春,张清海,林绍霞,等.不同生态区域贵州鸟王茶土壤性状及茶叶品质相关性研究[J].广东农业科学,2013,40(8):60-63.
- [3] 田永辉,梁远发,魏杰,等.茶园土壤物理性状对茶叶品质的影响研究[J].蚕桑茶叶通讯,2000(3):14-17.
- [4] 梁远发,田永辉,王家伦,等.茶园土壤物理性状对土壤肥力贡献研究[J].贵州茶叶,2000(3):22-23;27.
- [5] 肖宏儒,权启爱.茶园作业机械化技术及装备研究[M].北京:中国农业科学技术出版社,2012.
- [6] 汤茶琴,梅菊芬,徐德良,等.我国茶园管理机械化技术研究进展[J].热带农业工程,2010,34(5):13-16.
- [7] 曹顺爱,吕军.土壤母质及其物理性状与茶叶品质关系[J].茶叶,2003,29(1):13-16.
- [8] 孔晓民,韩成卫,曾苏明,等.不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响[J].玉米科学,2014,22(1):108-113.
- [9] 王恩娟,柴亚凡,陈祥.大机械作业对黑土区耕地土壤结构性特征的影响[J].应用生态学报,2008,19(2):351-356.
- [10] 肖宏儒,李建国,秦广明,等.高地隙自走式多功能茶园管理机田间试验研究[J].中国农机化,2010(6):41-44.
- [11] 杨晓娟,李春俭.机械压实对土壤质量、作物生长、土壤生物及环境的影响[J].中国农业科学,2008,41(7):2008-2015.
- [12] 刘目兴,刘连友,孙炳彦,等.耕作地表土块状况及其对近地表风场的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(1):12-17.
- [13] 廖萍,黄国勤.红壤旱地保护性耕作对土壤理化性状的影响[J].耕作与栽培,2006(5):31-32.
- [14] Mari G R,姬长英,周俊.土壤压实对土壤物理性质及小麦氮磷钾吸收的影响[J].农业工程学报,2008,24(1):74-79.
- [15] 张久明,迟凤琴,宿庆瑞,等.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.
- [16] 吕巨智,程伟东,钟昌松,等.不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响[J].中国农学通报,2014,30(30):38-43.
- [17] 李明德,刘琼峰,吴海勇,等.不同耕作方式对红壤旱地土壤理化性状及玉米产量的影响[J].生态环境学报,2009,18(4):1522-1526.
- [18] 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.
- [19] 梁金凤,齐庆振,贾小红,等.不同耕作方式对土壤性质与玉米生长的影响研究[J].生态环境学报,2010,19(4):945-950.