

山东省褐土土壤容重对玉米生长发育及产量形成的影响

韩成卫¹, 孔晓民¹, 宋春林¹, 吴秋平¹, 曾苏明¹, 蒋 飞¹, 孙泽强^{2*}

- (1. 济宁市农业科学研究院/国家玉米产业技术体系济宁综合试验站, 山东 济宁 272031;
2. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部山东耕地保育科学观测实验站, 山东 济南 250100)

摘 要:以郑单 958 为材料, 采用盆栽试验, 以原状土壤不打破犁底层为对照 (CK), 设置容重 1.2、1.3、1.4、1.5、1.6 g/cm³ 共 6 个处理水平, 探索了山东省褐土不同土壤容重条件下玉米生长发育和产量差异。结果表明: 随着土壤容重增加, 玉米株高、茎粗、单株叶面积、总根量、植株干物质累积和籽粒产量总体呈现减少趋势, 且容重越大, 降幅越显著。土壤容重 1.5 g/cm³ 时, 玉米生长发育受到明显抑制, 土壤容重由 1.2 g/cm³ 增加到 1.6 g/cm³, 玉米株高、茎粗、单株叶面积分别降低 15.7%、12.6%、28.7%, 且玉米生长中后期叶片衰老速率加剧; 玉米根条数、根长、根干重、根冠比、植株干重分别降低 17.9%、47.0%、36.8%、20.1%、20.7%, 容重增加对根系生长的影响明显高于地上部。与 CK 相比, 容重 1.2~1.6 g/cm³ 各处理的穗粒重分别增加 11.1%、18.0%、4.6%、-4.5%、-14.6%。因此, 适当降低有效耕层内土壤紧实度, 可促进玉米根系生长和干物质积累, 提高单株生产能力。

关键词:褐土; 土壤容重; 玉米; 农艺性状; 产量

中图分类号: S152.5; S513

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2017) 06-0143-06

土壤容重是衡量土壤结构和评价土壤质量的重要参数, 直接影响着土壤水肥供应、通气状况及作物根系穿透阻力等, 适宜的土壤容重对作物生长发育和产量及品质的形成都具有重要作用。大量研究表明, 疏松的土壤环境有利于作物根系的伸展和根量积累, 从而提高生物学产量和经济产量。当土壤容重增大时, 机械阻力增加, 限制作物根系生长发育, 使水肥利用效率下降, 造成作物减产^[1-4]。然而, 此类研究多限于土壤容重对作物生长发育及产量性状方面, 且主要集中于作物某一生育期, 研究指标相对单一。目前关于土壤容重对植物生长的影响以及作物对土壤容重所能忍受极限的研究结果不尽相同, 针对自然原状土不同土壤容重条件下玉米生理生态效应尚需进一步研究明确^[5-9]。玉米是目前我国种植面积最大的作物, 也是粮食增产的主力军, 玉米产量的高低对于粮食安全和畜牧业的发展具有重要影响。山东省是我国重要的粮食区, 玉米

总产量常年居全国第二位, 在夏玉米产区居首位。近年来, 随着玉米全程机械化技术的应用推广, 玉米播前长期采用以小型农机具为主的连年旋耕耕作方式, 以及收获时大型联合收割机的作业, 田间作业时机械的接地压力不可避免的压实土壤, 导致土壤结构紧实, 有效耕层土壤量显著减少, 土壤蓄水保肥能力严重下降, 制约了大面积粮食高产和稳产^[10-11]。研究发现, 农业机械的碾压载荷对土壤容重、含水量的损失量和坚实度都随碾压载荷的增大而增大, 载荷小的机械碾压对表层土壤 0~10 cm 的坚实度影响较大, 而载荷大的机械对深层土壤的影响更大^[12-13]。据 2008 年国家玉米产业技术体系全国玉米主产区土壤耕层调查, 我国土壤耕层深度已由 20 年前的 20 cm 降为 16.5 cm, 耕层土壤容重达 1.38 g/cm³ 以上, 犁底层容重达 1.52 g/cm³, 远远超出适宜容重 1.1~1.3 g/cm³ 的指标。深入研究土壤容重与作物生长发育的关系, 对于科学调控土壤环境, 促进作物高产优质有重要的意义。为此本研究以山东省主要农业土壤——褐土为着眼点, 采用盆栽方法, 通过测定分析玉米植株特征及产量性状, 探讨不同土壤容重对玉米生长发育及产量形成的影响, 以期对山东及华北平原地区土壤合理耕层构建和玉米高产

收稿日期: 2017-01-19; **最后修订日期:** 2017-03-08

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目 (201503117); 国家科技支撑计划课题 (2013BAD05B06)。

作者简介: 韩成卫 (1979-), 男, 山东济宁人, 农艺师, 硕士, 主要从事玉米高产栽培技术研究。E-mail: jnsnkyms@163.com。

通讯作者: 孙泽强, E-mail: sunzq1977@163.com。

栽培提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2016年在国家玉米产业技术体系济宁综合试验站进行, 试验区位于北纬 $34^{\circ}25'$ ~ $35^{\circ}55'$, 东经 $115^{\circ}54'$ ~ $117^{\circ}06'$, 海拔38 m, 属暖温带季风气候, 年降水量707.1 mm, 年平均气温 13.6°C , 平均无霜期199 d。供试土壤为褐土, 质地轻壤, 土壤物理机械组成为: 砂粒($1\sim 0.05\text{ mm}$) 19.75%, 粉粒($0.05\sim 0.02\text{ mm}$) 24.05%, 粘粒($0.02\sim 0.002\text{ mm}$) 36.7%, 粘粒($<0.002\text{ mm}$) 19.5%; $0\sim 20\text{ cm}$ 耕层土壤容重为 1.33 g/cm^3 , $20\sim 40\text{ cm}$ 土壤容重为 1.48 g/cm^3 ; 耕层土壤($0\sim 20\text{ cm}$) 有机质含量 13.1 g/kg , 碱解氮 58.6 mg/kg , 有效磷 48.3 mg/kg , 速效钾 128.5 mg/kg , pH值为6.98。

1.2 试验设计

根据大田耕作前后的调查结果, 设置6个处理, 以原状土壤不打破犁底层为对照(CK), 设计打破犁底层后土壤容重1.2、1.3、1.4、1.5、1.6 g/cm^3 共5个水平。为了模拟大田土壤状况, 供试土壤从试验田 $0\sim 20\text{ cm}$ 耕层和 $20\sim 40\text{ cm}$ 犁底层分两个层次采集, 分别过筛除去杂草和石块, 土壤风干至8%水分含量(易压实), 粉碎过 2.5 mm 筛, 充分混匀后备用。

试验采用桶栽, 将制备好的符合各层容重的土壤依次装入各层(桶中各层次的土取之供试土壤相应层次)。通过分层次装入压实的方法达到不同的容重, 具体方法为: PVC桶容积为50 L, 直径38 cm, 高45 cm, 装土深度40 cm, 预留5 cm便于灌溉。按照设计容重分 $0\sim 20\text{ cm}$ 和 $20\sim 40\text{ cm}$ 两层装土, 每层土壤保持原位置不变。每层土壤均分4次装土, 从底部开始每次填入桶内土层深度为5 cm, 用直尺和记号笔在桶上进行逐层标记, 以保证每层土壤位置准确, 使上下土壤容重均匀一致。根据设计容重、土壤含水量和装土体积(V)计算出实际装土重量, 计算公式为: 每次装土量(kg) = 土壤容重 $\times V \times (1 + \text{土壤含水量}) / 100$ 。容重大的处理采用人工机械压实的办法达到处理要求, 同时采用裁纸刀将每个土层表面划破, 增加土壤粗糙度, 降低表面张力, 改善土壤渗透性能。然后将各处理的试验桶自然放置1个月, 保证土壤容重的真实

性。每个水平设置10个重复, 每盆栽植1棵玉米, 随机区组排列。

供试品种为郑单958, 6月15日播种, 为确保苗齐苗全, 每桶播种5穴种子, 播种后及时浇水造墒。于3叶期间苗, 保留3株幼苗备用, 在幼苗5叶期时一次性定苗。播种时, 以底肥形式每桶一次施入N、 P_2O_5 、 K_2O 比例为15:15:15的复合肥5 g。玉米整个生长期内灌水4次, 分别在播期前、拔节期、大喇叭口期和抽雄吐丝期, 通过称重法保持全生育期内土壤含水量在田间持水量的75%~85%。采用喷壶微孔细喷, 降低灌溉对土壤容重的影响。结合灌水, 在玉米大喇叭口期每桶追施尿素10 g, 其它管理同当地玉米高产田。

1.3 测定项目及测定方法

从拔节期至玉米完熟期, 分别测定株高、茎粗、穗位高、单株叶面积等指标。株高: 用米尺测量植株从地面到自然状态的最高点间距离; 茎粗: 用数字游标卡尺测量茎最下部扁圆一面的直径; 穗位高: 在吐丝期用米尺测量从地面到果穗穗柄下方的距离; 单株叶面积: 用直尺测定叶片的最大长度和宽度, 采用长宽系数法^[14-15], 即单叶叶面积(cm^2): $A = L \times W \times \text{系数}$ (系数: 未展开叶片为0.5, 展开叶为0.75)。

于成熟期, 收获所有桶栽玉米, 整株根系分装到网袋内, 采用流水浸泡清洗根系, 剔除杂质后, 吸干根表面水分, 数根系的总轴根条数, 并用直尺测量各层轴根的长度。地上部植株样品和测量后的全部根系, 分别于烘箱中 105°C 杀青30 min, 80°C 烘干至恒重, 称量根系干物质质量和地上部分植株干重。根冠比: 取根系干物质质量和地上部干物质质量的比值。

收回的全部果穗称重计产, 并进行室内考种, 调查穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重、秃尖等穗部性状。

1.4 数据分析

采用Excel 2003和DPS 9.50统计分析软件进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 土壤容重对玉米植株性状的影响

研究结果表明, 随着土壤容重的增加, 玉米株高和茎粗均呈现减少的趋势, 且容重越大, 减少的趋势越显著。从表1可以看出, 土壤容重 1.2 g/cm^3

和 1.3 g/cm³ 处理间差异不显著, 土壤容重增加到 1.5 g/cm³ 时, 玉米生长发育受到明显抑制; 土壤容重 1.6 g/cm³ 处理的玉米各生育期平均株高、茎粗相比容重 1.2 g/cm³ 处理分别降低 15.7%、12.6%, 差异达显著水平 ($P < 0.05$)。不同容重处理玉米穗位高的变化趋势与株高一致, 与土壤容重呈极显著负相关 ($r = -0.94^{**}$)。与原状土壤 (CK) 相比, 容重 1.2 g/cm³ 和 1.3 g/cm³ 处理在玉米生长前

期差别不大, 但随着生育期的推移, 植株长势得到明显改善, 玉米抽雄吐丝期至成熟期的平均株高和茎粗分别增加 5.3%、3.7% 和 4.2%、4.7%, 容重 1.5 g/cm³ 和 1.6 g/cm³ 处理则表现相反, 株高和茎粗分别降低 3.1%、5.4% 和 11.5%、9.0%, 其中 1.6 g/cm³ 处理与 CK 之间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。说明对照处理由于连年旋耕, 造成土壤犁底层坚硬, 限制了玉米正常生长发育。

表 1 不同土壤容重对玉米植株性状的影响

土壤容重 (g/cm ³)	拔节期		大喇叭口期		抽雄吐丝期			成熟期	
	株高 (cm)	茎粗 (cm)	株高 (cm)	茎粗 (cm)	株高 (cm)	茎粗 (cm)	穗位 (cm)	株高 (cm)	茎粗 (cm)
1.2	49.6a	1.02a	135.9a	2.10a	214.6a	2.16ab	75.8a	214.1a	2.05a
1.3	50.0a	1.00a	137.0a	2.12a	212.2ab	2.23a	75.4a	211.7ab	2.01ab
1.4	50.1a	0.90bc	128.9bc	1.98bc	208.2abc	2.11b	73.8a	207.3abc	1.89abc
1.5	47.0b	0.86c	123.1c	1.90c	198.9c	2.06b	67.5b	198.2c	1.86cd
1.6	40.7c	0.78d	114.9d	1.75d	181.5d	2.09b	62.0c	180.7d	1.78d
CK	48.8ab	0.95ab	132.6ab	2.04ab	200.6bc	2.11b	72.6ab	203.3bc	1.95abc

注: 表中同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著, 下同。

2.2 土壤容重对玉米单株叶面积的影响

随着土壤容重的增加, 拔节期至成熟期的单株叶面积呈现减少趋势 (图 1), 容重越大, 降幅越显著。以玉米抽雄吐丝期为例, 土壤容重 1.2、1.3、1.4、1.5、1.6 g/cm³ 处理比 CK 处理分别增加 4.3%、3.9%、3.0%、-7.0% 和 -16.3%。整个玉米生育期, 土壤容重较小的 1.2 和 1.3 g/cm³ 处理与 1.5、1.6 g/cm³ 高容重处理间的差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。玉米生长前期 1.2、1.3 g/cm³ 处理与 CK、1.4 g/cm³ 处理之间差异不明显, 但随着玉米生育进程的推移, 尤其是成熟期各处理叶面积表现为容重增加, 叶面积衰老速率加快, 差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。

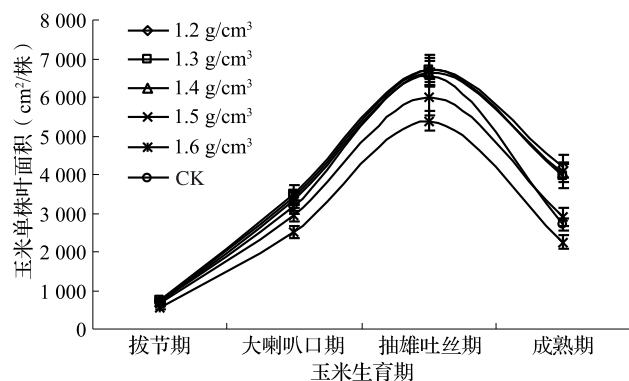


图 1 不同土壤容重对玉米单株叶面积的影响

2.3 土壤容重对玉米根系生长的影响

研究结果表明, 土壤容重增加严重影响玉米根系的正常发育, 随着土壤容重增加, 玉米根系数量、根干重、根长均呈现减少趋势, 且容重越大, 降幅越显著。从表 2 可以看出, 土壤容重由 1.2 g/cm³ 增加到 1.6 g/cm³ 时, 根系数量、根长、根干重分别下降 17.9%、47.0%、36.8%。与 CK 相比, 容重 1.2 g/cm³ 处理的根系条数、根长和根干重分别增加 4.5%、38.2% 和 14.9%, 而容重 1.6 g/cm³ 处理则分别降低 14.2%、26.8% 和 27.4%。根冠比随土壤容重的增大而增大, 1.2、1.3 g/cm³ 处理显著高于 1.4、1.5、1.6 g/cm³ 处理 ($P < 0.05$); CK 与 1.4 g/cm³ 处理之间差异不显著, 但显著高于 1.5、1.6 g/cm³ 高容重处理 ($P < 0.05$), 表明土壤容重增加对根系生长的影响明显高于地上部分。

表 2 不同土壤容重对玉米根系生长的影响

土壤容重 (g/cm ³)	根系条数	平均根长 (cm)	根系干重 (g)	根冠比
1.2	55.8a	34.0a	20.1a	0.047 7a
1.3	54.8a	31.1b	19.9a	0.048 1a
1.4	54.2a	29.3b	17.1b	0.043 6bc
1.5	47.6b	24.5c	14.4c	0.041 1cd
1.6	45.8b	18.0d	12.7c	0.038 1d
CK	53.4a	24.6c	17.5b	0.046 7ab

2.4 土壤容重对植株干物质积累的影响

研究结果表明, 植株干物质累积在不同容重条件下的变化趋势与根系一致, 即随着土壤容重的增加而逐渐减少, 呈极显著负相关关系 ($r = -0.98^{**}$)。由图 2 可以看出, 不同处理植株干物质累积量表现为 $1.2 \text{ g/cm}^3 > 1.3 \text{ g/cm}^3 > \text{CK} > 1.4 \text{ g/cm}^3 > 1.5 \text{ g/cm}^3 > 1.6 \text{ g/cm}^3$ 。土壤容重由 1.2 g/cm^3 增加到 1.4 g/cm^3 时, 玉米植株干重明显下降。与 CK 相比, 容重 $1.2 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ 处理分别增加 6.5%、4.6%、-1.6%、-11.7%、-15.5%。 1.2 g/cm^3 处理比 1.4 、 1.5 、 1.6 g/cm^3 处理分别提高 8.2%、20.6%、26.1%, 差异达显著水平 ($P < 0.05$),

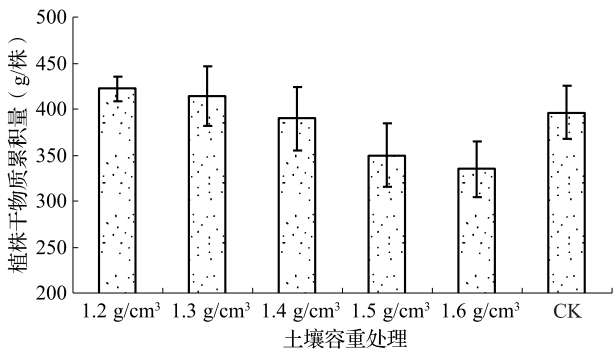


图 2 不同土壤容重条件下的玉米植株干物质累积

CK 与容重 1.3 、 1.4 g/cm^3 处理间差异不显著, 但均显著高于 1.5 和 1.6 g/cm^3 处理 ($P < 0.05$)。

2.5 土壤容重对玉米穗部性状及产量的影响

如表 3 所示, 籽粒产量随容重增加而降低, 呈显著负相关关系 ($r = -0.91^{*}$)。与 CK 相比, 容重 $1.2 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ 处理的平均穗粒重分别增加 11.1%、18.0%、4.6%、-4.5%、-14.6%。 1.2 和 1.3 g/cm^3 容重处理的平均穗粒重达 169.0 g , 相比 1.4 、 1.5 、 1.6 g/cm^3 处理分别提高 8.7%、16.7%、25.5%。其中, 1.3 g/cm^3 处理显著高于除 1.2 g/cm^3 外的其余处理, 而 1.2 g/cm^3 处理与 1.5 、 1.6 g/cm^3 处理以及 1.4 g/cm^3 、CK 与 1.6 g/cm^3 处理之间的差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。处理间的籽粒产量差异主要是由穗粒数所致, 穗粗、穗行数、百粒重和秃尖长度处理间差异较小, 穗长、行粒数以及穗粒数则随容重增加而降低, 容重 1.2 g/cm^3 处理的穗长相比 CK、 1.4 、 1.5 、 1.6 g/cm^3 处理分别增加了 8.5%、6.4%、16.1% 和 16.1%, 穗粒数则分别提高 7.4%、5.5%、28.6% 和 31.3%。容重 1.2 、 1.3 g/cm^3 处理与 1.5 、 1.6 g/cm^3 处理之间的穗长、行粒数以及穗粒数差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。

表 3 土壤容重对玉米产量及穗部性状的影响

土壤容重 (g/cm^3)	穗长 (cm)	穗粗 (cm)	秃尖长 (cm)	穗行数 (行)	行粒数 (粒)	穗粒数 (粒)	百粒重 (g)	果穗干重 (g)	穗粒重 (g)
1.2	16.6a	4.7a	0.4a	15.0a	35.9ab	539.0a	33.0a	194.2ab	163.8ab
1.3	16.5a	4.8a	0.6a	14.8a	37.0a	548.0a	33.7a	202.8a	174.1a
1.4	15.6ab	4.8a	0.6a	15.0a	34.2bc	511.0a	32.7ab	182.1abc	154.2bc
1.5	14.3c	4.7a	0.4a	14.2a	29.5d	419.0b	32.7ab	166.2cd	140.7cd
1.6	14.1c	4.7a	0.4a	14.2a	29.0d	410.4b	31.9b	147.8d	125.9d
CK	15.3bc	4.7a	0.7a	15.2a	33.0c	502.0a	33.0a	174.5bc	147.4bc

3 讨论

土壤容重是衡量土壤结构和评价土壤质量的重要参数, 一般作物根系生长的适宜土壤容重范围在 $1.1 \sim 1.3 \text{ g/cm}^3$ 之间^[16]。适宜的土壤容重可以使玉米茎叶系统的氮、磷、钾含量在生育后期仍然维持在较高水平, 有利于延缓玉米衰老, 促进后期光合作用, 增加干物质积累, 从而提高产量。下层土壤紧实导致作物叶面积和干物质积累下降, 玉米产量下降 30%^[17-19]。Goodman 等^[6] 研究认为, 根系下

扎过程中很容易穿透直径与根径相当孔隙, 当下层土壤容重过大, 孔隙小于根径时会限制根系的垂直生长, 气生根数目明显减少。李潮海等^[20]、王群等^[21] 发现, 玉米生长的最适土壤容重为 $1.2 \sim 1.3 \text{ g/cm}^3$, 当容重增大为 1.6 g/cm^3 时, 土壤中没有根系下扎, 通过降低 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 土层容重, 玉米增产幅度达 6.2% ~ 8.6%。

本研究结果表明, 随着土壤容重增加, 玉米株高、叶面积、干物质累积、总根量和穗粒重均呈现减少趋势, 且容重越大, 降幅越显著。土壤容重增

至 1.5 g/cm^3 时, 玉米生长发育受到明显抑制, 尤其是玉米生长中后期, 高容重处理下叶面积衰老速率显著加快, 不利于玉米植株干物质累积。土壤容重由 1.2 g/cm^3 增加到 1.6 g/cm^3 , 玉米根系条数、根干重、根长、根冠比和植株干重降幅达 $17.9\% \sim 47.0\%$ 。土壤容重与根系的穿透阻力、土壤含水量、土壤通气性以及水肥的利用率等密切相关, 这些都直接影响作物根系的生长发育和生理功能。容重大的土壤过于紧实, 通气性差, 肥水利用率低且机械阻力大, 因此限制了根系生长, 降低了营养元素及其转运, 抑制了玉米的生长和后期干物质积累。这与前人得出的容重提高使深层根系数量和比例下降的结论一致^[5,20-21]。研究显示, 1.6 g/cm^3 容重处理的 20 cm 土层以下仍有少量根系穿透, 这与李潮海等^[20] 针对砂姜黑土上根系生长的研究结果略有差异, 这可能是由于不同类型土壤结构和机械组成及其肥力状况差异有关, 质地黏重的砂姜黑土, 由于物理结构较差, 土壤僵硬, 严重限制了根系扩展, 表现出个体养分吸收量远低于褐土, 增加容重后大大降低土壤孔隙度, 根系指标降幅显著。

玉米籽粒产量在不同容重条件下的变化趋势与植株性状一致, 随容重增加而降低, 呈显著负相关关系 ($r = -0.91^*$)。 1.2 g/cm^3 和 1.3 g/cm^3 容重处理的平均穗粒重相比 CK、 1.4 g/cm^3 、 1.5 g/cm^3 、 1.6 g/cm^3 处理分别提高 14.7% 、 9.6% 、 20.1% 和 34.2% , 这与国内外学者对增加土壤容重引起玉米减产幅度范围和结论基本一致^[5,20-21]。籽粒产量差异主要是由穗粒数所致, 与 CK 相比, $1.2 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ 容重处理的穗粒数分别增加 7.4% 、 9.2% 、 1.8% 、 -16.2% 和 -18.2% 。本研究将整个土层设置为相同的容重, 且采用人工模拟机械压实进行, 这与实际的大田状况有一定差异。鉴于此, 试验以山东省主要农业土壤——褐土的自然原状土为着眼点, 分析对比设计土壤容重与大田原状土之间的性状指标差异。由于长期表层旋耕以及小型农机具反复碾压, 导致耕层变浅、土壤结构紧实, 自然原状土 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 耕层土壤容重为 1.33 g/cm^3 , $20 \sim 40 \text{ cm}$ 土壤容重高达 1.48 g/cm^3 , 坚硬的犁底层严重限制了玉米根系生长和根系活力, 叶面积和干物质积累显著下降, 玉米单株生产能力明显减弱。已有研究表明, 深松耕作能够打破犁底层, 降低深层土壤紧实度, 土壤疏松多孔, 为作物根系创造疏松深厚的土壤环境^[22-23]。根据笔者承

担的国家玉米产业技术体系“玉米机械化深松改土田间定位试验”多年研究结果, 深松 30 cm 与常规旋耕 (CK) 相比, $0 \sim 35 \text{ cm}$ 耕层土壤容重下降 6.5% , 土壤紧实度下降 25.6% , 田间持水量提高 7.4% , 玉米增产 5.7% ^[24]。因此生产中可以通过深耕或深松等耕作技术打破犁底层, 有效降低深层土壤紧实度, 改善土壤透气性和贮水能力, 实现粮食增产和耕地可持续利用。

4 结论

土壤容重对玉米生长发育及产量形成具有重要作用, 随着土壤容重增加, 玉米株高、单株叶面积、总根量、植株干物质累积、根冠比和穗粒重都呈现减少趋势, 容重越大, 降幅越显著。土壤容重增至 1.5 g/cm^3 时, 玉米生长发育受到明显抑制, 尤其是玉米生长中后期的叶面积衰老速率明显加快。土壤容重增加严重限制了根系生长, 降低了营养元素及其转运, 减少了玉米后期干物质积累, 从而降低玉米产量。土壤容重增加对根系生长的影响明显高于地上部, 玉米根系生长缓慢, 吸收功能减弱, 加剧了后期植株的衰老进程, 地上部籽粒增重明显下降。因此, 适当降低有效耕层内土壤紧实度, 可促进玉米根系生长和干物质积累, 提高单株生产能力。

参考文献:

- [1] 李志洪, 王淑华. 土壤容重对土壤物理性状和小麦生长的影响 [J]. 土壤通报, 2000, 31 (2): 55-57.
- [2] 刘晚苟, 山仑. 不同土壤水分条件下容重对玉米生长的影响 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (11): 1906-1910.
- [3] 孙利军, 张仁陟, 黄高宝. 保护性耕作对黄土高原旱地地表土壤理化性状的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25 (6): 207-211.
- [4] 郭庆法, 王庆成, 汪黎明. 中国玉米栽培学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004.
- [5] 郑存德, 依艳丽, 张大庚, 等. 土壤容重对高产玉米根系生长的影响及调控研究 [J]. 华北农学报, 2012, 27 (3): 142-149.
- [6] Goodman A M, Ennds A P. The effects of soil bulk density on the morphology and anchorage mechanics of the root systems of sun flower and maize [J]. Annals of Botany, 1999, 83: 293-302.
- [7] 李潮海, 梅沛沛, 王群, 等. 下层土壤容重对玉米植株养分吸收和分配的影响 [J]. 中国农业科学, 2007, 40 (7): 1371-1378.
- [8] 刘晚苟, 山仑, 邓西平. 植物对土壤紧实度的反应 [J].

- 植物生理学通讯, 2001, 37 (3): 254–259.
- [9] 刘晚苟, 山仑, 邓西平. 不同土壤水分条件下土壤容重对玉米根系生长的影响 [J]. 西北植物学报, 2002, 22 (4): 831–838.
- [10] 张志国, 徐琪, Blevins R L. 长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质及玉米产量的影响 [J]. 土壤学报, 1998, 35 (3): 384–391.
- [11] 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.
- [12] 张娟利, 韩文霆, 师帅兵, 等. 农业机械对土壤压实的试验研究 [J]. 拖拉机与农用运输车, 2011, 38 (3): 6–8.
- [13] 张娟利, 师帅兵. 农业机械作业对土壤参数影响的试验研究 [J]. 中国农机化, 2011, (4): 100–103.
- [14] 胡玉琪. 玉米叶形系数的测定 [J]. 河南农学院学报, 1982, (3): 84–88.
- [15] 王得贤. 四种测定单株玉米总叶面积方法的比较 [J]. 青海农林科技, 1999, (4): 20–21.
- [16] 李潮海, 李胜利, 王群, 等. 下层土壤容重对玉米根系生长及吸收活力的影响 [J]. 中国农业科学, 2005, 38 (8): 1706–1711.
- [17] Voorhees W B, Johnson J F, Randall G W. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction [J]. Agronomy Journal, 1989, 81: 294–303.
- [18] Assaeed A M, McGowan M, Hebblethwaite P D, et al. Effect of soil compaction on growth, yield and light interception of selected crops [J]. Annals of Applied Biology, 1990, 117: 653–666.
- [19] Dolan M S, Dowdy R H, Voorhees W B, et al. Corn phosphorous and potassium uptake in response to soil compaction [J]. Agronomy Journal, 1992, 14: 639–642.
- [20] 李潮海, 赵霞, 王群, 等. 下层土壤容重对玉米生育后期叶片衰老的生理效应 [J]. 玉米科学, 2007, 15 (2): 61–63.
- [21] 王群, 李潮海, 郝四平, 等. 下层土壤容重对玉米生育后期光合特性和产量的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19 (4): 787–793.
- [22] 傅积平. 机械耕作条件下的土壤改良 [M]. 北京: 农业出版社, 1978.
- [23] 齐华, 刘明, 张卫建, 等. 深松方式对土壤物理性状及玉米根系分布的影响 [J]. 华北农学报, 2012, 27 (4): 191–196.
- [24] 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.

Effects of different soil bulk density on growth and yield of corn under cinnamon soil in Shandong province

HAN Cheng-wei¹, KONG Xiao-min¹, SONG Chun-lin¹, WU Qiu-ping¹, ZENG Su-ming¹, JIANG Fei¹, SUN Ze-qiang^{2*}

[1. Jining Academy of Agricultural Science /Jining Comprehensive Experimental Station of the National Corn Industry Technology System, Jining Shandong 272031; 2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences/ Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Shandong), Ministry of Agriculture, Jinan Shandong 250100]

Abstract: In order to develop the new tillage technology on the promotion of maize yield, the effect of different soil bulk density on the plant growth and yield component of maize Zhengdan 958 was conducted under pot cultivation. The results showed that maize growth and yield were greatly affected by soil bulk density. Maize plant height, stem diameter and leaf area in the whole growth period decreased by 15.7%, 12.6%, 28.7% under 1.6 g/cm³ in comparison to the 1.2 g/cm³ soil bulk density, while the leaf senescence rate accelerated markedly during later grain-filling stage. Root number, root length, root dry weight, root top ratio and plant dry matter accumulation decreased by 17.9%, 47.0%, 36.8%, 20.1% and 20.7%. Grain yield was significantly and negatively correlated with soil bulk density. The grain weight of 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 g/cm³ treatment increased by 11.1%, 18.0%, 4.6%, -4.5%, -14.6% when compared to CK. Therefore, both the above-ground and under-ground of plant could be promoted by plowing tillage to loose the soil bulk density.

Key words: cinnamon soil; soil bulk density; maize; agronomic characteristics; yield