文章编号：1005-0906(2022)02-0104-08 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20220215

不同耕作方式对松嫩平原半干旱区玉米生长和产量的影响

王玉凤,陈天宇,付 健,张翼飞,杨克军
(黑龙江八一农垦大学农学院/黑龙江省现代农业栽培技术与作物种质改良重点实验室,黑龙江 大庆 163319)

摘 要：耕作方式影响玉米的生长和产量。设置旋耕垄作(RT)、旋耕垄作深松(RTS)、免耕(NT)、免耕深松(NTS)、旋耕平作(FT)、旋耕平作深松(FTS)6个处理,分析不同耕作方式对玉米苗期根系生长、干物质积累、净光合速率和产量构成,研究不同耕作方式对半干旱区玉米生长和产量的影响。结果表明,免耕处理显著降低了玉米苗期根系的鲜重、干重和体积。旋耕垄作、旋耕平作和免耕结合深松处理干物质积累量较未深松处理增加3.17%～15.08%,旋耕平作结合深松处理提高了玉米有效穗数、玉米净光合速率,进一步提高玉米产量。

关键词：玉米;耕作方式;产量
中图分类号：S513.047 **文献标识码**：A

Effects of Tillage Methods on Maize Growth and Yield in Semiarid Area of Songnen Plain

WANG Yu-feng, CHEN Tian-yu, FU Jian, ZHANG Yi-fei, YANG Ke-jun
(*College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University/Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Cultivation and Crop Germplasm Improvement, Daqing* 163319, China)

Abstract: Tillage methods affect the growth and yield of maize. To exploring the effects of different tillage methods on maize the growth and yield in semi-arid areas, six treatments were set up, namely no-tillage(NT), no-tillage and subsoiling(NTS), rotary and ridge tillage(RT), rotary and ridge tillage and subsoiling(RTS), rotary and flatten tillage(FT), and rotary and flatten tillage and subsoiling(FTS). The effects of different tillage methods on root growth at seedling stage, dry matter accumulation, net photosynthetic rate and yield composition of maize were analyzed. The results showed that no-tillage significantly reduced the fresh weight, dry weight, and volume of maize root at seedling stage. The dry matter accumulation of rotary and ridge tillage, rotary and flatten tillage and no-tillage and subsoiling increased 3.17%-15.08% compared with that of no-subtillage treatments, and the effective ear number and net photosynthetic rate of maize were increased by rotary and flatten tillage and subsoiling , thus further improving maize yield.

Key words: Maize; Tillage method; Yield

中国东北部松嫩平原西部雨养农业地区是中国粮食主产区,在粮食生产中占有重要地位。受气候变化影响,该地区春季低温干旱与夏季强降雨等发生频率在近几十年呈增加趋势[1],且夏季降水量较为集中,常遇大风天气,土壤水分蒸发量较大[2,3]。较低的土壤温度和水分严重影响春播玉米生长发育。目前中国东北部松嫩平原西部半干旱区常用的耕作方式主要采用春季旋耕垄作,旋耕垄作栽培农业机械操作次数过多,连年旋耕垄作导致犁底层加厚变硬,春季遇到旱灾情况时,传统的旋耕垄作造成土壤水分过度流失,土壤犁底层的加厚变硬也限制了玉米根系的向下生长,降低玉米对于土壤水分和养分的吸收能力,导致该地区玉米年产量明显下降[4],成为该地区玉米增产的主要瓶颈。

耕作可以通过改善耕层土壤结构和表面状态进

录用日期：2021-08-16
基金项目：国家重点研发计划(2018YFD0300101、2017YFD0300502)、黑龙江省现代农业产业技术协同创新体系项目
作者简介：王玉凤(1978-),女,副教授,主要从事作物逆境生理与生态研究。E-mail:89348070@qq.com
杨克军为本文通讯作者。E-mail:byndykj@163.com

而调节土壤的水、肥、气、热,为作物生长发育创造良好土壤环境,不同耕作方式对于玉米的出苗率、生长发育、光合特性和产量构成因素均构成显著影响。Blevins[5]认为,免耕处理降低了土壤温度,不利于作物出苗和根系的生长发育。也有研究结果表明,短期免耕并不会显著影响作物产量,连续免耕超过3年后则会明显降低玉米产量[6]。付国占等[7]认为,深松能够改善土壤理化性质,有助于苗期玉米生长发育,在玉米生长发育中期,深松能够增加玉米株高和叶面积指数,增加玉米净光合速率,进而增加玉米产量。张昊等[8]研究表明,免耕玉米秸秆整株覆盖虽然延迟了出苗,降低了大喇叭口前干物质积累,但增加了玉米生育后期单株叶面积和干物质积累,增产幅度达到20%以上。也有研究结果认为,旋耕处理水分利用率显著低于深松处理和免耕[9~10]。

与传统耕作相比,免耕和少耕能够显著提高土壤含水量,有助于作物吸收土壤中的水分,从而提高作物水分利用率[11]。以免耕为代表的保护性耕作能够最大程度上保存土壤水分,提高土壤水分含量,这为作物增产提供了保障[12]。李永平等[13]对深松、翻耕30 cm、常规耕作和免耕比较研究后认为,翻耕和深松能在降低土壤容重的同时使其含水量有效增加,进而提高玉米产量,说明耕作方式对作物生长及产量的影响是土壤环境因子和地区环境条件共同作用的结果。探讨适宜松嫩平原西部半干旱地区的玉米耕作技术对保障粮食安全具有重要意义,通过耕作措施改善土壤水热状况而调控作物生长发育,如适时进行深松、减少耕作等,形成与该地区种植制度相适应的土壤耕作技术体系,是解决该地区农业持续稳定发展的首要问题[14~16]。本试验通探讨耕作方式对于玉米生长和产量构成因素的影响,为创制适宜的耕作方法、促进作物生长发育增加产量提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

本试验地点位于黑龙江八一农垦大学试验基地(黑龙江省大庆市,46°37′15″N 125°11′56″E),试验区域地处北温带大陆性季风气候区,年平均气温4.2℃,最冷月平均气温-18.5℃,极端最低温度为-39.2℃;最热月平均气温为23.3℃,极端最高气温39.8℃。年均无霜期143 d,年均风速3.8 m/s,年平均降水量为440 mm,年平均蒸发量1600 mm。土壤类型为草甸碱化土,0~20 cm耕层土壤基础肥力为有机质25.14 g/kg,全氮1.22 g/kg,碱解氮103.76 mg/kg,速效磷16.23 mg/kg,速效钾106.16 mg/kg,pH值为8.17。

1.2　试验设计

表1　试验设计

Table 1　Experimental design

代号 Code	处理 Treatment	耕作方法 Tillage method
RT	旋耕垄作	春季旋耕扶垄,垄距65 cm,垄上施肥播种镇压,6叶期进行一次追肥,收获后秸秆打包离田。
RTS	旋耕垄作+深松	春季旋耕扶垄,垄距65 cm,垄上施肥播种镇压,6叶期进行一次追肥,行间深松35 cm,收获后秸秆打包离田。
NT	免耕	原茬卡种,除6叶期追肥外不进行任何土壤操作,收获后秸秆粉碎覆盖还田。
NTS	免耕+深松	原茬卡种,6叶期追肥,行间深松35 cm,收获后秸秆粉碎覆盖还田。
FT	旋耕平作	春季旋耕平整土地,平播镇压,6叶期追肥,收获后秸秆打包离田。
FTS	旋耕平作+深松	春季旋耕平整土地,平播镇压,6叶期追肥,行间深松35 cm,收获后秸秆打包离田。

本试验为玉米定位试验,试验开始于2014年,样品采集于2018~2019年。试验设置6种处理,分别为旋耕垄作、旋耕垄作深松、免耕、免耕深松、旋耕平作、旋耕平作深松,深松深度为35 cm,以旋耕垄作为对照,每个处理设置3次重复,小区垄长30 m,垄距0.65 m,每个试验小区设置8垄。本试验材料选用先玉335,种植密度7.5万株/hm^2。供用肥料氮(N)、磷(P_2O_5)、钾肥(K_2O)施用量分别为240、120和90 kg/hm^2,所用肥料为尿素(N 46%)、磷酸二铵(P_2O_5 46%;N 18%)、硫酸钾(K_2O 50%)。其中70%氮肥和全部磷钾肥作为基肥一次性施入,其余在6叶期进行追肥。2018和2019年播种时间分别为2018年4月27日和2019年5月4日,收获时间分别为2018年10月5日和2019年10月3日。

1.3　测定项目与方法

1.3.1　玉米叶片SPAD值的测定

在各小区选取长势均匀具代表性的植株3株玉米(吐丝前期自上而下取玉米第3片完全展开叶,吐

丝后取穗位叶片)，采用SPAD 502 Plus手持式分析仪测定。

1.3.2 玉米净光合速率的测定

玉米光响应曲线于2018年和2019年拔节期、大喇叭口期、抽雄期和灌浆期(吐丝后30 d)测定，测定时间为8:30～11:30，采用美国LI-COR公司生产的Li-6400便携式光合系统分析仪，测定叶片的净光合速率。

1.3.3 玉米形态指标的测定

苗期根系生长发育测定样品采集于4叶1心时，各小区采集代表处理平均长势的整株玉米3株，通过直尺调查植株根系长度，采用称重法调查植株根系重量，采用排水法调查根系体积。每个处理在玉米苗期、拔节期、吐丝期、吐丝后30 d和成熟期5个时期进行玉米叶面积和株高的定位观测。每个小区选择3株有代表性的植株，测定玉米株高。

1.3.4 伤流液的测定

每个处理3次重复，每次重复取3株，距地面第一伸长茎节1 cm处取样。自封袋内放入预先称量好的脱脂棉，茎节用剪刀快速切断，脱脂棉置于伤口处，将自封袋套至第一茎节处，用细橡皮筋绑好。前一天18:00时取样，次日早6:00时收回称重。

1.3.5 干物质积累

每个处理在玉米苗期、拔节期、吐丝期、吐丝后30 d和成熟期5个时期，每个处理取样3株，测定干物质重量。

1.3.6 产量

在玉米达到生理成熟、乳线完全消失时进行收获，每个小区收获中间4行，行长5米，收获全部果穗，称量鲜重，取代表性果穗20穗进行室内考种，记录穗粒数及百粒重，风干至含水率为14%时计算产量。

2 结果与分析

2.1 耕作方式对玉米苗期根系生长的影响

玉米苗期是玉米的关键营养生长阶段，主要是器官的分化和植株生长，地上部分主要以叶的生长为主，地下部分生长以根系为主。从图1可以看出，2018年和2019年两年试验过程中不同耕作方式下玉米根重和根体积生长趋势基本一致，RT和FT处理均大于NT处理。根系体积方面，2019年RT处理显著高于NT处理47.06%，2018年RT与FT之间差异不显著，二者分别显著高于NT处理44.44%和61.11%；根系鲜重与根系体积趋势相同，2018年RT与FT之间差异不显著，二者分别显著高于NT处理13.16%和8.97%，根系干重总体表现为RT>FT>NT处理，且差异达到显著水平，2018年与2019年苗期根系鲜重和干重差异相似。

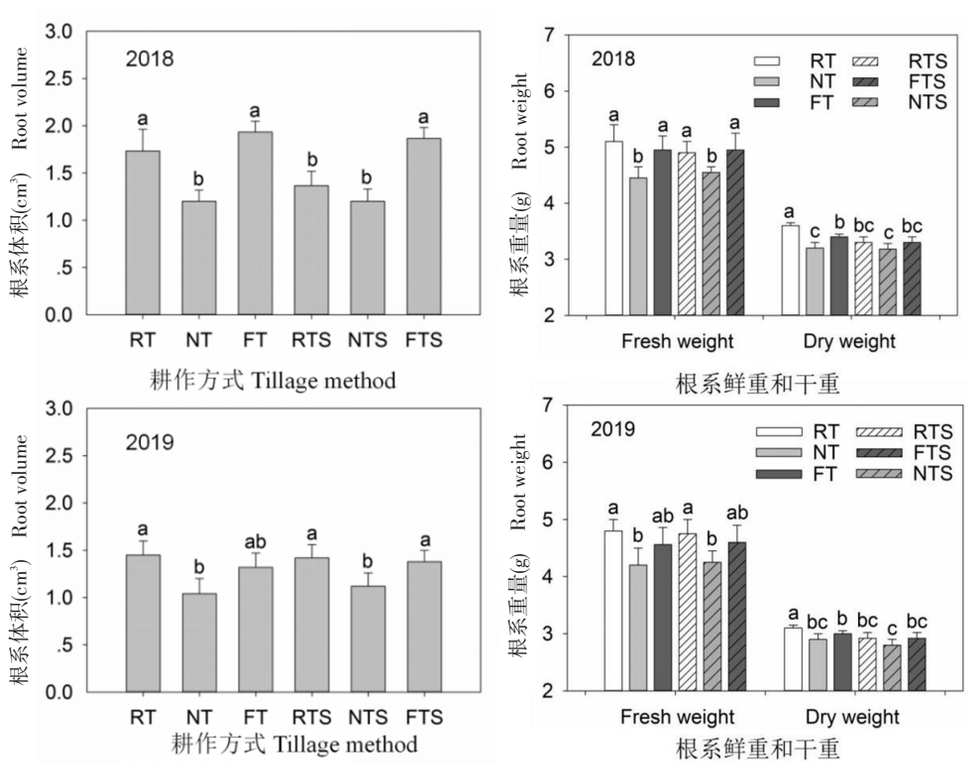

图1 耕作方式对玉米苗期根系生长发育的影响

Fig.1 Effect of tillage on root growth and development of maize in seedling stage

2.2　耕作方式对玉米株高的影响

连续两年对玉米株高调查研究(图2),各处理生育前期为株高快速生长期,灌浆期至成熟期之间生长缓慢。两年研究均表明,苗期各处理间玉米株高总体表现为NT>FT>RT,拔节期各处理间差异不显著。拔节期后,各处理进入快速生长期。抽雄期时,RTS、NTS和FTS处理较RT、NT和FT处理提高1.12%~2.31%,6种耕作处理中,RT处理株高最低,且RT、NT和FT处理间差异不显著,但显著低于RTS和FTS处理。灌浆期时各处理株高达到生育期株高最大值,未深松各处理总体表现为RT>FT>NT,RTS处理为各处理间株高最高,2018年和2019年成熟期RTS处理株高显著高于NT处理1.29%和2.09 %。

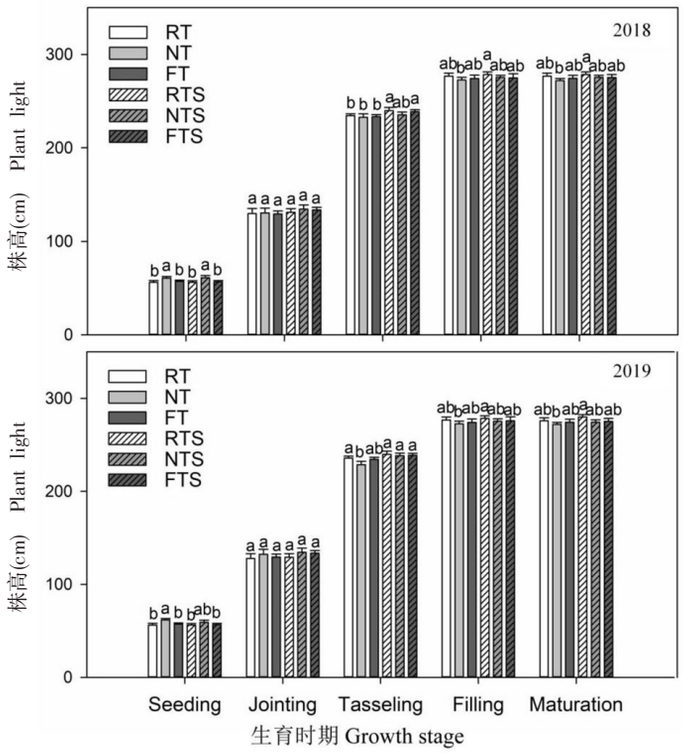

图2　耕作方式对玉米株高的影响

Fig.2　Effect of tillage methods on plant height of maize

2.3　耕作方式对玉米生育期干物质积累的影响

干物质是玉米产量形成的重要条件,作物形成较多干物质,才能保证作物获得高产,干物质是作物高产形成的保障。从图3可以看出,耕作方式对玉米生育期干物质积累变化有显著影响。玉米生长苗期阶段,各处理间干物质积累差异不显著。拔节期时不同耕作方式处理下干物质积累差异显著,2018年深松处理的增加量高于未深松处理1.33%~15.91%。灌浆期后,深松处理显著提高了玉米单株干物质积累,RTS、NTS和FTS显著高于RT、NT和FT

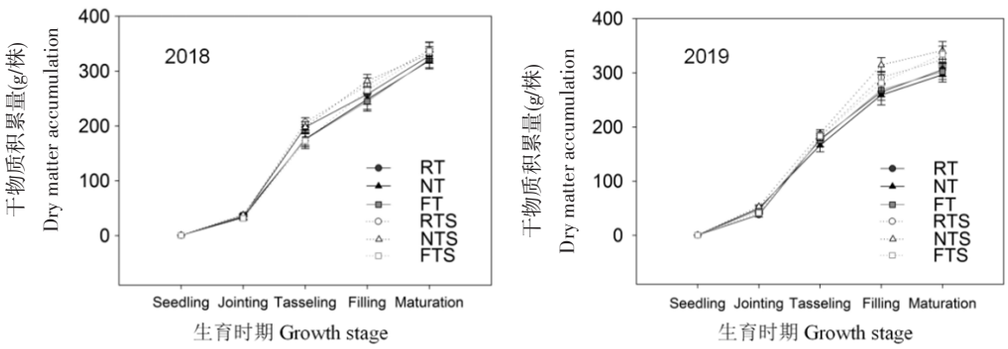

图3　耕作方式对玉米生育期干物质积累的影响

Fig.3　Effect of tillage methods on dry matter accumulation of maize

处理6.56%～12.29%。2019年拔节期结合深松处理后，NTS显著高于NT处理19.07%。拔节期后，玉米干物质进入快速积累期，各处理干物质积累量均显著提高。拔节期至抽雄期阶段，RT、NT和FT相对于拔节期单株干物质积累量提高了163.19 g、143.01 g和138.35 g，深松的RTS、NTS和FTS处理相对于拔节期单株干物质积累量提高171.93 g、160.32 g和141.39 g，深松处理的增加量显著高于未深松处理2.20%～12.10%。玉米成熟期后，2018年深松处理RTS、NTS和FTS干物质积累量较未深松处理RT、NT和FT增加6.12%～15.08%，2019年深松处理显著提高了成熟期干物质积累3.17%～4.76%。

2.4 耕作方式对玉米生育期叶片SPAD值的影响

如表2可以看出，耕作方式对玉米叶片SPAD值有显著影响。本研究表明，在抽雄吐丝期后，未深松处理玉米穗位叶SPAD值各处理间无显著差异，FTS和NTS处理玉米穗位叶SPAD值较未深松处理显著增加，2018年RTS、NTS和FTS处理相对于未深松处理RT、NT和FT增加5.20%～5.56%，2019年RTS、NTS和FTS处理相对于未深松处理RT、NT和FT增加4.88%～11.15%，深松显著提高了玉米抽雄期SPAD值。吐丝20 d、吐丝40 d，未深松处理玉米穗位叶SPAD值总体表现为无显著差异。2018年吐丝20 d后，深松处理RTS、FTS、NTS处理玉米穗位叶SPAD值较未深松处理RT、NT和FT显著提高7.92%～8.76%，2019年达到8.93%～10.32%。随着生育期的增加，深松与未深松处理之间SPAD值差异逐渐增加，2018年吐丝40 d后，RTS、NTS和FTS处理显著高于RT、NT和FT处理8.06%～11.70%，2019年达到12.43%～18.25%。

表2 耕作方式对玉米SPAD值的影响

Table 2 Effect of tillage methods on SPAD of maize

年 份 Year	耕作方式 Tillage method	抽雄期 Tasseling stage	吐丝后20 d 20 days after silking stage	吐丝后40 d 40 days after silking stage
2018	RT	55.36 b	47.26 b	37.24 b
	NT	54.31 b	46.81 b	34.27 c
	FT	54.67 b	46.74 b	35.21 c
	RTS	58.24 a	51.20 a	40.24 a
	NTS	57.23 a	50.91 a	38.28 a
	FTS	57.36 a	50.44 a	39.24 a
2019	RT	58.21 b	50.29 bc	40.06 ab
	NT	57.24 b	47.38 c	35.83 b
	FT	58.41 b	48.93 c	39.03 ab
	RTS	61.05 ab	54.78 a	45.04 a
	NTS	63.62 a	52.27 ab	42.37 a
	FTS	64.11 a	53.62 a	44.21 a

2.5 耕作方式对玉米生育期净光合速率的影响

玉米生育期净光合速率的大小是衡量作物光合能力的重要指标。由表3可知，各处理的净光合速率在整个生育期内均呈单峰曲线的变化，均在抽雄期达到最高值。连续两年试验均表明，RT和FT处理拔节期净光合速率显著高于NT处理，2019年拔节期时，RT和FT处理的净光合速率分别显著高于NT处理14.35%和14.88%。随着生育期的推进，各深松处理的净光合速率值均大于未结合深松处理。抽雄期各处理净光合速率均达到最大值，2018年RTS、NTS和FTS处理抽雄期玉米净光合速率显著高于未深松处理RT、NT和FT处理4.43%～5.88%，2019年达到7.77%～11.07%，各处理间差异达到显著水平。灌浆期时，净光合速率显著下降，连续两年均表现为降到同年各时期最低值，NT处理净光合速率显著低于其他处理，其他各处理间差异不显著。

2.6 耕作方式对玉米茎秆伤流强度的影响

玉米茎秆伤流强度可以用来表示玉米生长活力和反映玉米根系活力(图4)。耕作方式对玉米茎秆伤流强度的影响，玉米生长进入拔节期以后，玉米茎秆伤流强度达到全生育期最大值。深松对玉米茎秆伤流强度影响显著，2019拔节期RTS处理伤流强度为各处理间最高，显著高于RT处理35.64%；NT处理土壤伤流液强度最低，显著低于RTS处理36.50%。2018年玉米伤流液强度与2019年总体趋势相同，RT处理显著高于NT处理16.89%，与FT处理间差异未达到显著水平。深松处理提高了土壤玉米茎秆伤流强度，2018年RTS、NTS和FTS处理相对

于RT、NT和FT处理提高19.94%～30.29%,2019年RTS、NTS和FTS处理玉米伤流强度显著高于RT、NT和FT处理12.54%～35.77%,处理间差异达到显著水平。随着生育期的推进,各处理间伤流强度差异逐渐缩小,2018年玉米抽雄期各处理间伤流强度差异无显著水平。灌浆期后RT和FT处理伤流强度分别显著高于NT处理70.11%和32.69%,深松处理NTS显著高于NT处理32.4%,深松处理显著提高了土壤伤流强度。

表3　耕作方式对玉米净光合速率的影响

Table.3　Effect of tillage on photosynthetic rate of maize in growth period　　μmol/(m²·s)

年 份 Year	耕作方式 Tillage method	拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 Big horn stage	抽雄期 Tasseling stage	灌浆期 Filling stage
2018	RT	23.34 a	21.24 a	27.31 b	15.84 ab
	NT	21.05 b	20.74 a	26.34 b	14.48 b
	FT	23.21 a	20.63 a	27.74 b	15.98 ab
	RTS	24.34 a	22.18 a	31.31 a	17.24 a
	NTS	21.22 b	21.96 a	29.34 a	16.88 a
	FTS	24.01 a	21.82 a	30.71 a	17.08 a
2019	RT	23.67 a	22.93 b	31.18 b	16.28 ab
	NT	20.70 b	22.65 b	30.03 b	15.14 b
	FT	23.78 a	22.53 b	30.92 b	16.54 ab
	RTS	25.15 a	26.58 a	33.51 a	17.68 a
	NTS	21.74 b	24.41 a	32.41 a	16.45 ab
	FTS	24.96 a	24.61 a	32.91 a	17.54 a

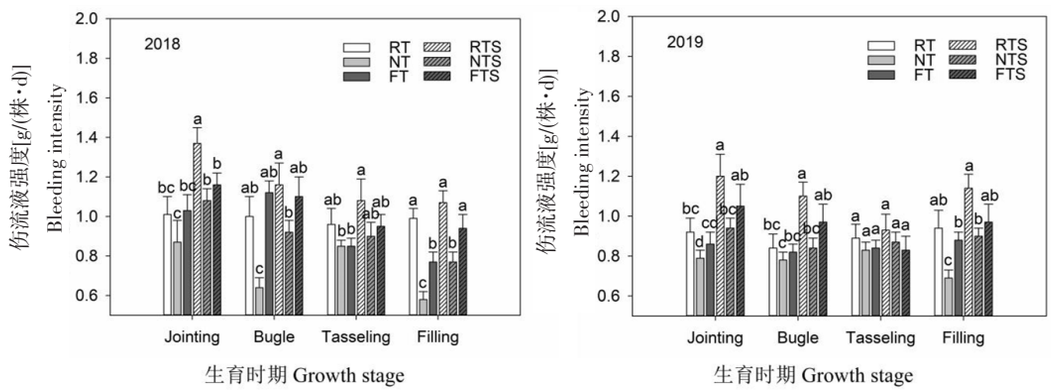

图4　耕作方式对玉米茎秆伤流液流量的影响

Fig.4　Effect of tillage methods on bleeding intensity of maize

2.7　耕作方式对玉米产量和产量构成因素的影响

NT和FT相对于传统耕作方式RT处理对玉米产量影响因年限不同而存在差异,深松处理能显著提高玉米子粒产量(表4)。2018年研究结果表明,FTS和NTS处理玉米产量显著高于其他处理,FTS和NTS处理之间差异不显著。深松显著提高玉米子粒产量,RTS、NTS和FTS处理显著高于RT、NT和FT处理2.62%～5.31%。2019年研究结果表明,FTS为各处理间产量最高,显著高于RT、NT和FT处理8.07%～20.22%,深松处理RTS、NTS和FTS处理显著高于未深松处理RT、NT和FT处理8.07%～12.76%。

从产量构成因素可知,玉米种植年限不同,各处理间产量构成因素有所差异。本试验研究表明,耕作方式对玉米有效穗数有显著影响。2019年表现为NT和NTS处理降低玉米有效穗数,RTS处理和FTS处理间差异不显著,FTS处理玉米有效穗数为各处理间最高,达到58421.44穗/hm²,分别显著高于NT和NTS处理11.46%和13.78%,NTS和FTS处理间玉米有效穗数无明显差异。2018年研究结果表明,RT和RTS处理玉米有效穗数明显降低,NTS为各处理间玉米有效穗数最高,分别显著高于RT和RTS处理14.41%和11.10%,NT、NTS、FT和FTS处理间无显著差异。深松能够显著提高玉米穗粒数,2018年

RTS、FTS和NTS处理穗粒数显著高于RT、FT和NT处理3.60%～9.23%，2019年达到3.54%～5.24%。深松能够提高玉米百粒重，2018年RTS、FTS和NTS处理百粒重分别高于RT、FT和NTS处理12.15%～13.87%，2019年达到3.56%～5.73%。

表4 耕作方式对玉米产量构成因素的影响

Table 4 Effects of tillage methods on maize yield components

年 份 Year	处 理 Treatment	有效穗数(×10⁴穗/hm²) Ears	穗粒数 Kennels	百粒重(g) 100-grain weight	子粒产量(kg/hm²) Yield
2018	RT	52 135.49 b	511.07 b	34.09 b	8 647.55 c
	NT	58 997.34 a	504.67 b	33.24 b	9 054.14 b
	FT	57 687.18 a	514.98 b	33.41 b	8 912.52 b
	RTS	53 689.45 b	554.34 a	38.34 a	8 874.47 b
	NTS	59 647.59 a	551.24 a	37.85 a	9 534.58 a
	FTS	57 564.29 a	533.54 a	37.47 a	9 343.18 a
2019	RT	56 303.88 a	558.21 b	43.76 b	10 399.03 b
	NT	52 413.32 b	534.38 c	43.48 b	9 622.24 cb
	FT	57 046.16 ab	559.42 b	44.85 b	10 703.19 b
	RTS	56 768.22 a	587.45 a	45.32 a	11 345.27 ac
	NTS	51 343.74 b	554.34 b	45.97 a	10 849.95 b
	FTS	58 421.44 ab	579.24 a	47.26 a	11 567.42 a

3 结论与讨论

作物根系的生长发育很大程度受到耕层土壤物理结构、水肥供应能力的影响[17～18]。耕作方法能够影响耕层土壤的物理结构和水肥供应能力，进而影响玉米根系生长。前人研究表明，耕作方式可能会显著影响玉米根系的空间分布[19]。在本研究中，旋耕和深松显著提高了玉米根的生长发育。垄作和平作处理下根系生物量、体积均显著高于免耕处理。玉米茎秆伤流强度拔节期RTS、NTS和FTS处理相对于RT、NT和FT处理茎秆伤流量提高12.54%～35.77%。灌浆期后RT和FT处理伤流强度分别显著高于NT处理70.11%和32.69%，深松处理NTS显著高于NT处理32.4%。说明深松改善了土壤透气条件，有利于根系的水肥吸收，促进了根系在土壤中的生长，延缓根系衰老[20]。耕作方式可以影响玉米净光合速率，进而影响玉米光合产物的积累。本结果表明，2018年和2019年，结合深松处理RTS、NTS和FTS干物质积累量较未深松处理RT、NT和FT增加3.17%～15.08%。2018年抽雄期RTS、NTS和FTS处理玉米净光合速率显著高于未深松处理RT、NT和FT处理4.43%～5.88%，2019年达到7.77%～11.07%。本研究中，与RT相比，FTS处理减少了春季的农业操作步骤，并减少了表层土壤水分蒸发，且显著提升了玉米有效穗数，与常规耕作RT处理相比，FTS处理明显提升了玉米子粒产量。付占国等[21]研究表明，深松能够显著提高玉米干物质积累量。刘艳昆等[22]研究表明，深松处理能够显著提高玉米根系生长发育，从而影响作物地上部的生长发育。本研究中深松明显提升了玉米百粒重，2018年与2019年相比，表现出玉米百粒重较低，这可能是因为受2018年田间涝害影响，限制了玉米生长发育，虽然深松增加了耕层土壤排涝能力，缓解了玉米生殖生长期的淹水胁迫，但总体玉米百粒重表现仍然低于2019年。本试验在2018年玉米播种期遇到强干旱天气，降水严重不足，导致RT处理受耕作影响，土壤水分大量蒸发，使玉米产量显著降低；FT和NT处理由于减少了田间耕作次数，且FT处理下土壤表面积相对RT处理更小，最大程度上保存了土壤水分，保证玉米出苗所需的最低水分需求，从而有助于苗期玉米生长发育，提高了玉米产量。

本研究认为，在松嫩平原西部地区采用平作深松处理减少耕作次数，减少春季播种期土壤水分过度蒸发，确保苗期玉米对于土壤水分的最低需求，并且通过减少耕作避免了资源浪费，且平作深松处理有助于根系生长发育，增加玉米水肥利用效率，确保该地区玉米获得稳产和高产。

参考文献：

[1] 宋 苗．近53年来松嫩平原作物气候生产力的变化特征及未来的趋势预测[D]．兰州：西北师范大学，2015．

[2] 张鹏飞，张翼飞，王玉凤，等．膜下滴灌氮肥分期追施量对玉米氮效率及土壤氮素平衡的影响[J]．植物营养与肥料学报，2018，24

(4):915-926 .
Zhang P F, Zhang Y F, Wang Y F, et al. Effects of nitrogen topdressing amount at various stages on nitrogen efficiency of maize and soil nitrogen balance under mulched drip irrigation[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2018, 24(4): 915-926. (in Chinese)

[3] 刘慧迪,杨克军,李佐同,等 . 松嫩平原西部膜下滴灌玉米基于叶龄指数的适宜追氮量研究[J] . 植物营养与肥料学报,2016,22(3):811-820 .
Liu H D, Yang K J, Li Z T, et al. Suitable amount of N topdressing based on leaf age index of maize using mulched drip irrigation technology in Western Songnen Plain[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(3): 811-820. (in Chinese)

[4] 李玉洁,王 慧,赵建宁,等 . 耕作方式对农田土壤理化因子和生物学特性的影响[J] . 应用生态学报,2015,26(3):939-948 .
Li Y J, Wang H, Zhao J N, et al. Effects of tillage methods on soil physicochemical properties and biological characteristics in farmland [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(3): 939-948. (in Chinese)

[5] Blevins R L, Frye W W, Baldwin P L, et al. Tillage effects on sediment and soluble nutrient losses from a maury silt loam soil[J]. Journal of Environment Quality, 1990, 19(4): 683 .

[6] 贾树龙,孟春香,任图生,等 . 耕作及残茬管理对作物产量及土壤性状的影响[J] . 河北农业科学,2004,8(4):37-42 .
Jia S L, Meng C X, Ren T S, et al. Effect of tillage and residue management on crop yield and soil properties[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2004, 8(4): 37-42. (in Chinese)

[7] 付国占,王俊忠,李潮海,等 . 残茬覆盖与耕作方式对夏玉米营养生长及子粒产量的影响[J] . 河南农业科学,2005,34(3):23-26 .
Fu G Z, Wang J Z, Li C H, et al. Effects of stubble mulching and tillage management on growth and grain yield in summer maize[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2005, 34(3): 23-26. (in Chinese)

[8] 张 昊,于海秋,依 兵,等 . 整秸秆覆盖免耕对土壤水热状况和玉米生长发育的影响[J] . 沈阳农业大学学报,2011,42(1):90-93 .
Zhang H, Yu H Q, Yi B, et al. Effect of whole straw-mulching no-tillage on soil water content and temperature and growth of maize[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2011,42(1):90- 93.(in Chinese)

[9] 陈四龙,陈素英,孙宏勇,等 . 耕作方式对冬小麦棵间蒸发及水分利用效率的影响[J] . 土壤通报,2006,37(4):817-820 .
Chen S L, Chen S Y, Sun H G, et al. Effect of different tillages on soil evaporation and water use efficiency of winter wheat in the field [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(4): 817-820. (in Chinese)

[10] 何 进,李洪文,高焕文 . 中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J] . 农业工程学报,2006,22(10):62-67 .
He J, Li H W, Gao H W, et al. Subsoiling effect and economic benefit under conservation tillage mode in Northern[J]. China Transactions of the CSAE, 2006, 22(10): 62-67. (in Chinese)

[11] Zhang S L, Zhang X Y, Ted Huffman, et al. Influence of topography and land management on soil nutrients variability in Northeast China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2011, 89(3): 427-438.

[12] Naudin K , E Gozé, Balarabe O, et al. Impact of no tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon: A multi-locational on-farm assessment[J]. Soil and Tillage Research, 2010, 108(1): 68-76.

[13] Moroizumi, Toshitsugu, Horino, et al. The effects of tillages on soil temperature and soil water[J]. Soil Science, 2002, 167(8): 548-559.

[14] Hill P R. Use of continuous no-till and rotational tillage systems in the central and northern corn belt[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 56(4): 286-290.

[15] López-Fando C, Pardo M T. Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 104(2): 278-284.

[16] Chen Y, Liu S, Li H, et al. Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 115-116: 56-61.

[17] Chen Y, Cavers C, Tessier S, et al. Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil[J]. Soil Tillage Research, 2005, 82: 161-171.

[18] López-Garrido R, Madejón E, León-Camacho M, et al. Reduced tillage as an alternative to no-tillage under Mediterranean conditions: A case study[J]. Soil and Tillage Research, 2014, 140: 40-47.

[19] Qin R, Stamp P, and Richner W. Impact of tillage on maize rooting in a Cambisol and Luvisol in Switzerland[J]. Soil Tillage Research, 2006, 85: 50-61.

[20] Biand H, Jiag P, Cail J, et al. Effects of tillage practices on root characteristics and root lodging resistance of maize[J]. Field Crops Research, 2016, 185: 89-96.

[21] 付国占,李潮海,王俊忠,等 . 残茬覆盖与耕作方式对夏玉米叶片衰老代谢和子粒产量的影响[J] . 西北植物学报,2005,25(1):155-160 .
Fu G Z, Li C H, Wang J Z, et al. Effects of stubble mulching and tilllage management on leaf senescence metabolism and grain yield in summer maize[J]. Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin., 2005, 25(1): 155-160. (in Chinese)

[22] 刘艳昆,阎旭东,徐玉鹏,等 . 滨海地区不同耕作方式对土壤水分及夏玉米生长发育的影响[J] . 天津农业科学,2014(5):84-87 .
Liu Y K, Yan X D, Xu Y P, et al. Effects of different tillage methods on soil moisture and growth and development of summer maize in coastal area[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2014(5): 84-87. (in Chinese)

(责任编辑:栾天宇)