文章编号:1000-7601(2020)03-0257-05 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2020.03.33

免耕直播对谷子耗水量、水分利用效率及产量的影响

刘朋程,于国红,崔海英,郭安强,杜 红,郝洪波,李明哲

(河北省农林科学院旱作农业研究所/河北省农作物抗旱研究实验室,河北 衡水 053000)

摘 要:于 2011—2013 年在河北省农林科学院旱作农业研究所深州试验站,通过对比免耕直播和常规旋耕播种对黑龙港地区谷子耗水量、产量及水分利用效率的影响,以期为黑龙港地区谷子免耕直播栽培技术提供理论依据。结果表明:(1)与旋耕处理相比,2012 年土层 5 cm、15 cm 和 100 cm 处,免耕处理土壤贮水量变化量显著降低,2013 年在 25 cm 和 35 cm 土层,免耕处理土壤贮水量变化量显著降低。(2)与旋耕处理相比,免耕处理下谷子产量显著升高,2012 年和 2013 年分别提高 6.12%和 9.67%,耗水量分别降低8.57%和 0.48%,水分利用效率分别升高 16.13%和 10.21%。(3)穗长、穗重、穗粒重与产量多元回归分析结果表明,穗长与产量呈极显著正相关关系($P<0.01$),穗重与产量呈显著正相关关系($P<0.05$)。(4)谷子生长期内的平均气温与谷子株高呈显著负相关关系,与千粒重呈极显著正相关关系。日照时数和降水量均与穗长、穗重和穗粒重呈显著正相关关系,而风速与穗长、穗重和穗粒重呈显著负相关关系。综上,在黑龙港地区免耕与旋耕相比,谷子产量可以提高 7.90%,耗水量生育期内降低 4.29%,水分利用效率提高 13.32%。因此,在免耕模式下,在本试验地区应选择降水和日照充足、风速适当小的地区有利于增加谷子产量。

关键词:免耕直播;耗水量;产量;水分利用效率;农艺性状;气象因子

中图分类号:S515;S345 **文献标志码**:A

Effects of no-tillage cultivation on water consumption, water use efficiency and yield of foxtail millet

LIU Pengcheng, YU Guohong, CUI Haiying, GUO Anqiang, DU Hong, HAO Hongbo, LI Mingzhe

(*Institute of Dry Farming, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Key Lab of Crop Drought Tolerance Research of Hebei Province, Hengshui, Hebei* 053500, *China*)

Abstract: This study was carried out for providing theoretical basis for no-tillage direct seeding technology of foxtail millet in Heilonggang area by comparing the effects of direct no-till and conventional rotary tillage seeding on water consumption, yield, and water use efficiency of foxtail millet at Shenzhou experimental station of Dry Farming Agricultural Research Institute of Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences from 2011 to 2013.The results showed that:(1) Compared with the rotary tillage treatment, the change of water storage capacity in soil layer of 5 cm, 15 cm, and 100 cm under no-tillage treatment significantly decreased in 2012. Compared with the rotary tillage treatment, the change of water storage amount in 25 cm and 35 cm of soil layers under no-tillage treatment was significantly reduced in 2013. (2) Compared with rotary tillage treatment, foxtail millet yield under no-tillage treatment significantly increased by 6.12% and 9.67% in 2012 and 2013, respectively. Water consumption decreased by 8.57% and 0.48%, and water use efficiency increased by 16.13% and 10.21%, respectively. (3) Multiple regression analysis of panicle length, panicle weight, panicle grain weight and yield showed that ear length was significantly positively correlated with yield ($P\leqslant0.01$), and ear weight was significantly positively correlated with yield ($P\leqslant0.05$). (4) There was a negative correlation between the average air temperatures during foxtail

收稿日期:2019-11-09 **修回日期**:2020-03-18

基金项目:国家谷子高粱产业技术体系(CARS-06-13.5-B3),河北省农林科学院创新工程项目(2019-4-2-4)

作者简介:刘朋程(1990-),男,河北衡水人,硕士,研究方向为谷子耕作与栽培。E-mail:15933989590@163.com

通信作者:李明哲,研究员,主要从事谷子育种与栽培研究。E-mail:guziketi@163.com

郝洪波,副研究员,主要从事谷子育种与栽培研究。E-mail:15603188929@126.com

millet growth and development periods with the plant height of foxtail millet but positive correlation with the 1000-grain weight. The panicle length, panicle weight, and panicle grain weight were significantly positively correlated with sunlight duration and precipitation. The panicle length, panicle weight and panicle grain weight were negatively correlated with the wind speed during the period.In conclusion, compared with rotary tillage, no-till cultivation increased grain yield by 7.90%, water consumption during the growth period was reduced by 4.29%, water use efficiency increased by 13.32%. As a result, under no-tillage mode, it is beneficial to increase the yield of foxtail millet in the area with sufficient precipitation, sunlight, and moderate wind speed.

Keywords: no-till cultivation; soil water consumption; grain yield; water use efficiency; agronomic traits; meteorological factors

近几年来,河北省黑龙港流域降雨量减少,地下水超采现象严重,成为华北地区最大的地下水漏斗区,严重影响了该地区农业的可持续发展[1-2]。黑龙港地区是河北省谷子发展的核心区域,谷子具有耐瘠薄、耐干旱的特点[3],如何通过栽培技术更好地发挥谷子的生产潜力,在不减产或者增产的前提下减少谷子生育期耗水量,提高水分利用效率是目前研究的重点。

保护性耕作是一项可持续的农业生产技术,具有增加土壤水分、改善土壤结构、减轻土壤侵蚀和减缓土地退化等优势[3-6]。有研究表明,耕作活动会引起土壤结构改变,从而改变土壤的水力学特性,影响土壤的蓄水保墒能力[6]。这是因为免耕能有效地保持土壤水分含量,其中免耕秸秆覆盖较传统耕作更有效地提高了土壤含水量,免耕土壤水分蒸发量明显小于传统耕作,这是由于免耕秸秆覆盖避免太阳光直射地面,抑制土壤表层水分蒸发[7-11]。

免耕直播法也得到国外研究学者的充分肯定,据美国学者研究,在科罗拉多州少耕和免耕可以增加土壤蓄水量,提高作物产量[8]。免耕直播较传统耕作具有一定优势这一学术观点在国际上已得到认可。但是,不同地区免耕效果各有差异,本试验通过研究黑龙港典型地区谷子在免耕直播和传统旋耕播种条件下土壤贮水量的变化,对比两种处理下的耗水量、产量和水分利用效率,探讨气象因子与农艺性状之间的关系,以期为黑龙港地区谷子免耕直播栽培技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验于 2011—2013 年在河北省农林科学院旱作农业研究所深州试验站进行,供试品种为衡谷 10 号,前茬为小麦。试验共设 2 个处理,分别为:旋耕播种(CT,麦茬粉碎还田后旋耕播种谷子)和免耕播种(NT,麦秆粉碎灭茬后直接播种),各处理小区面积为 6.4 m^2,随机区组设计,3 次重复,其它管理方式两处理一致。谷子生长发育期间气象资料见图 1。

1.2 指标测定及计算方法

土壤含水量采用取土烘干法测定,分别于播种期和成熟期测定 0~150 cm 土层(0~50 cm 每 10 cm 一层,50~150 cm 每 20 cm 一层)土壤含水量。使用土钻将不同层次土壤取出装入铝盒后称重,然后于 105℃烘箱烘 12 h,冷却后称重,并计算土壤含水量。

$$w = (w_1 - w_2)/w_2 \times 100\%$$

式中,w 为土壤含水量,w_1 为湿土重,w_2 为干土重。

在测定土壤含水量的同时,利用环刀法测定土壤容重,进而计算土壤贮水量、耗水量。

$$S_w = d \times r \times w/10$$

式中,S_w 为土壤贮水量(mm),d 为土层厚度(cm),r 为土壤容重($g \cdot cm^{-3}$)。

耗水量 ET_0 采用土壤水分平衡法计算:

$$ET_0 = I + P + \Delta S_W$$

式中,I 和 P 分别为时段内的灌水量和降水量(mm),ΔS_W 为时段内土壤贮水量的变化量(mm),由于试验地点水位较低,因此忽略地下水补给和深层渗漏。

作物水分利用效率计算公式如下:

$$WUE = Y/ ET_0$$

式中,WUE 为作物水分利用效率($kg \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1}$),$Y$ 为籽粒产量($kg \cdot hm^{-2}$)。

1.3 数据处理

2011—2013 年试验数据采用 Excel 2013 进行整理及作图,由于 2011 年部分数据缺失,故部分数据仅使用 2012—2013 年数据。采用 SPSS 24.0 统计软件进行方差分析、相关性分析以及回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤贮水量变化量的影响

如图 2 所示,2012 年土层 5 cm、15 cm 处,NT 处

理土壤贮水量变化量较 CT 处理分别显著降低 6.5 mm 和 5.0 mm,降低百分比为 46.19% 和 50.35%。CT 处理土壤贮水量变化量随土层深度呈单峰曲线变化,在土层 60 cm 处土壤贮水量变化量达到最小值-23.84 mm。NT 处理土壤贮水量随土层变化呈 M 型曲线,在土层 100 cm 处土壤贮水量变化量达到最小值-25.15 mm。2013 年在 25 cm 土层,NT 处理土壤贮水量变化量较 CT 处理显著降低 3.5 mm,下降了 48.78%。NT 处理和 CT 处理土壤贮水量变化量均随土层深度呈单峰曲线变化,且在 60 cm 土层处达到最小值,分别为-27.92 mm 和-26.09 mm。由 2 年结果可知,2 个处理的土壤贮水量变化量在 0~140 cm 土层内上层(0~25 mm 土层)和下层(140 cm 处)为正值,中层土壤处(25~100 cm 土层)为负值。

2.2　不同处理对产量和水分利用效率的影响

2 年结果显示(表 1),免耕处理下谷子产量显著升高,2012 年和 2013 年分别比旋耕处理提高 350.17 kg · hm^{-2} 和 468.1 kg · hm^{-2},分别升高了 6.12% 和 9.67%。2012 年免耕处理较旋耕处理耗水量显著减少,减少量为 35.75 mm;水分利用效率显

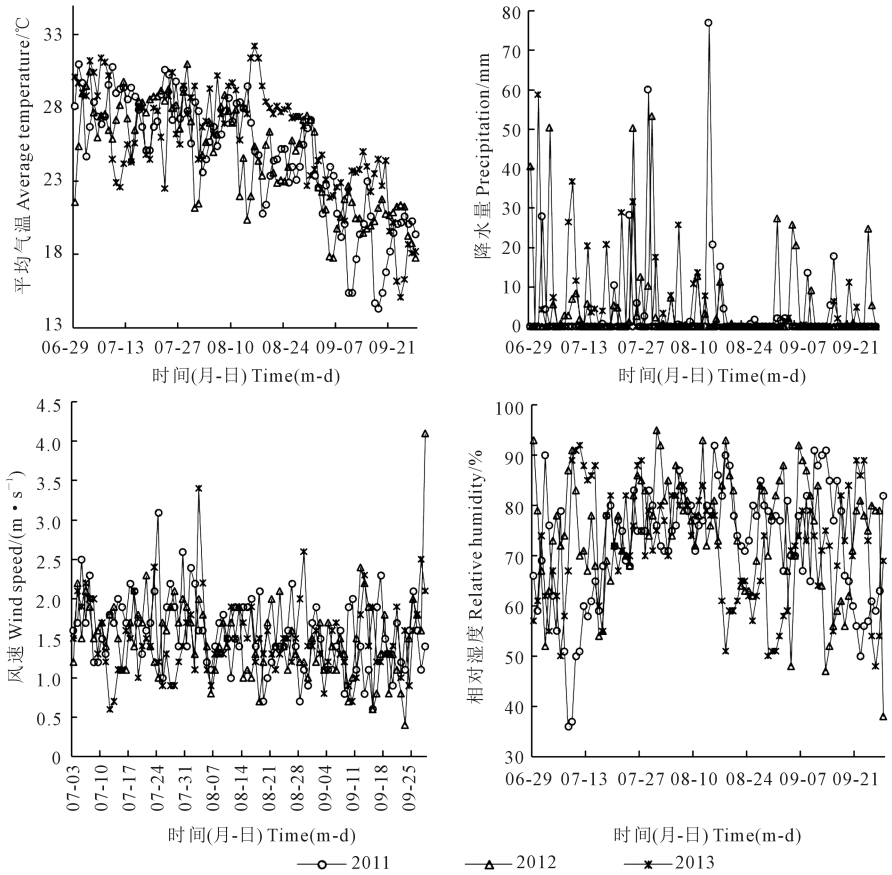


图 1　谷子生育期各气象因子的变化

Fig.1　The change of meteorological factors in the growth period of foxtail millet

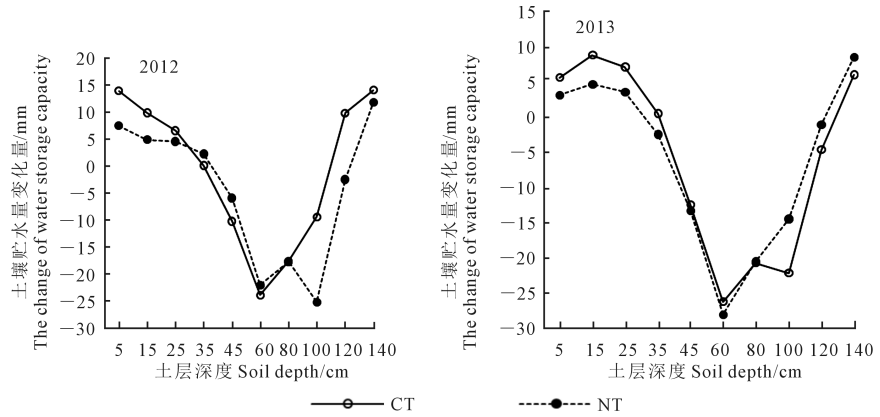


图 2　不同处理对土壤贮水量变化量的影响

Fig.2　Effects of different treatments on the variation of soil water storage capacity

著升高 2.21 g·m^{-2}·mm^{-1},升高了 16.13%,相关系数为 0.96。2013 年免耕处理耗水量比旋耕处理降低 1.53 mm,水分利用效率比旋耕处理升高了 1.55 g·m^{-2}·mm^{-1}。说明免耕处理较旋耕处理可以减少谷子生长发育期间耗水量,提高其水分利用效率,增加产量。

2.3 农艺性状和产量的相关性分析

由表 2 可知,穗长与产量呈极显著正相关关系($P<0.01$),穗重与产量呈显著正相关关系($P<0.05$),相关系数为 0.96。穗粒重、株高、千粒重与产量无显著关系,但穗粒重与产量相关系数较高,为 0.93,株高和千粒重与产量相关系数均低于 0.3。因此,对穗长、穗重、穗粒重与产量进行多元回归分析,结果表明,穗长与产量呈显著相关(R^2 = 0.99*),见图 3。

表 1 不同年份不同处理对产量和水分利用效率的影响

Table 1 Effects of different treatments on yield and WUE in different years

年份 Year	耕作方式 Tillage method	产量 Yield /(kg·hm^{-2})	耗水量 ET_0/mm	水分利用效率 *WUE* /(g·m^{-2}·mm^{-1})
2012	旋耕 CT	5719.53b	417.35a	13.70b
	免耕 NT	6069.70a	381.60b	15.91a
2013	旋耕 CT	4840.10b	318.89a	15.18a
	免耕 NT	5308.20a	317.36a	16.73a

注:同列不同小写字母表示相关性达显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters for the same column indicate significant correlation at 0.05 levels.

表 2 2011—2013 年谷子农艺性状与产量的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between agronomic characters and yield of millet from 2011 to 2013

农艺性状 Characters	株高 Plant height	穗长 Ear length	穗重 Panicle weight	穗粒重 Grain weight of per spike	千粒重 1000-grain weight	产量 Yield
株高 Plant height	1.00					
穗长 Ear length	0.11	1.00				
穗重 Panicle weight	−0.09	0.98*	1.00			
穗粒重 Grain weight per spike	−0.17	0.96*	1.00**	1.00		
千粒重 1000-grain weight	−0.94	0.23	0.42	0.49	1.00	
产量 Yield	0.21	0.99**	0.96*	0.93	0.13	1.00

注:* 表示在 0.05 水平上显著相关,** 表示在 0.01 水平上显著相关。下同。

Note: * indicate significant correlation at 0.05 level, ** indicate significant correlation at 0.01 level. The same below.

因此,本试验中穗长为影响产量的主要因素,且得出穗长(X)与产量(Y)线性回归方程为 $Y=2\ 977.34X-50\ 508.48$。

2.4 气象因子对农艺性状的相关性分析

由表 3 可知,谷子生长发育时期内的平均气温与谷子株高呈显著负相关关系($P\leqslant0.05$),相关系数为−0.97,与千粒重呈极显著正相关关系($P\leqslant0.01$),相关系数为 0.99。原因可能是平均气温的升高使生长发育期积温变大,加快营养生长向生殖生长的过渡,从而降低株高、增加千粒重;日照时数和降水量均与穗长、穗重和穗粒重呈显著正相关关系;而风速与穗长、穗重和穗粒重呈显著负相关关系,说明谷子生育期内平均风速偏高,会造成叶片蒸腾旺盛,导致叶片内的水分条件恶化,从而使气孔导度减小,降低光合作用,减少营养物质积累。结合表 3 可看出,影响谷子产量的气象因子主要为日照时数、降水量和风速。

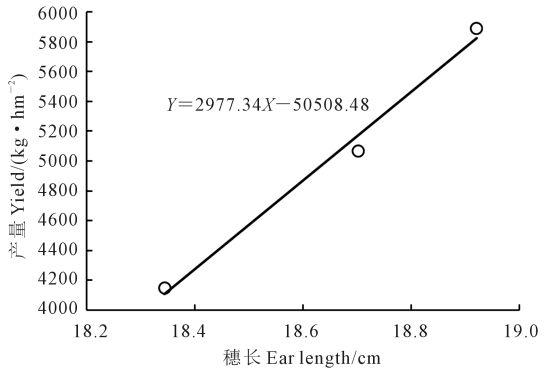


图 3 谷子穗长与产量相关性分析

Fig.3 Correlation analysis of ear length and yield of millet

表 3 2011—2013 年气象因子与农艺性状的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between meteorological factors and agronomic traits from 2011 to 2013

气象因子 Climate factor	农艺性状 Characters				
	株高 Plant height	穗长 Ear length	穗重 Panicle weight	穗粒重 Grain weight of per spike	千粒重 1000-grain weight
平均气温 Average temperature	−0.97*	0.13	0.32	0.40	0.99**
日照时数 Sunshine hour	0.06	1.00**	0.99*	0.97*	0.28
降水量 Precipitation	0.13	1.00**	0.98*	0.95*	0.21
风速 Wind speed	0.02	−0.99**	−1.00**	−0.99*	−0.35
相对湿度 Relative humidity	0.94	0.45	0.27	0.19	−0.76

3　结论与讨论

免耕具有显著的水土保持效应和作物增产效应,王庆杰等[12]研究表明,免耕可以明显改善春玉米生长发育期间的土壤环境,有效降低土壤水分蒸发,提高春玉米的水分利用效率。赵小蓉等[13]发现,在小麦生育期内免耕处理土壤含水量显著高于翻耕处理,并对提高小麦产量有明显作用。本研究结果表明,与常规旋耕处理相比,免耕显著影响 0~140 cm 土壤上层(0~25 cm 土层)和下层(140 cm 处)土壤贮水量的变化,免耕处理可以显著增加上层和下层土壤贮水量。余海英等[14]研究也表明,免耕处理下春玉米全生育期土壤剖面的平均含水量均明显高于传统翻耕。免耕覆盖对表层土壤水分含量影响较大,表层土壤含水量的增加与免耕覆盖减少对土层的扰动、无效蒸发有关[15-16]。因此,本试验结果与前人研究较为一致。在 0~140 cm 土层内,中部土层土壤贮水量的增加量最高,高于上层土壤和下层土壤。与常规旋耕相比,免耕可以提高谷子产量,降低生育期内耗水量,提高水分利用效率。

研究农艺性状与产量之间的关系,探讨免耕直播条件下谷子农艺性状的发育过程和对产量的影响,可以为直播谷子生产提供科学依据。本试验结果表明,在 2 种耕作模式下,谷子的穗长、穗重和穗粒重 3 个指标与谷子产量相关系数较高,回归分析结果表明,穗长与产量的回归结果达到显著水平($R^2=0.99$),因此,穗长是影响产量的主要因素,穗长(X)与产量(Y)线性回归方程为 $Y=2\ 977.34X-50\ 508.48$。因此,在免耕直播条件下通过提高谷穗长度的栽培技术可以增加谷子产量。

免耕对土壤含水量的影响程度会因地区、年份以及季节降雨量的不同而有所差异[17],前人在研究免耕模式时多是针对一个地区,且对所研究地区的气候资料研究较少,本试验通过研究免耕模式下农艺性状与气象因子之间的关系,可以清楚地知道除了耕作模式外影响谷子产量形成的气候因素,这不仅可以为耕作模式的改进提供理论依据,也可以筛选出适合免耕播种的其它气候适宜的地区,增加免耕技术模式的推广范围,理论上得到创新。周国勤等[18]研究表明,充足的降雨量和日照时数对小麦千粒重和穗粒重有直接和较大的正效应。韩毅强等[19]研究表明,在黑龙江西部地区影响玉米产量最关键的气象因子是抽雄~成熟期的温度和降雨,此时适量的灌溉更有利于增加产量。本研究结果表明,在免耕直播和旋耕播种模式下谷子生育期内的日照时数和降水量都与谷子的穗长、穗重和穗粒重呈显著正相关关系;而风速与谷子穗长、穗重和穗粒重呈显著负相关关系,说明在免耕模式下,在本试验地区选降水和日照充足、风速适当小的地区有利于增加谷子产量。

参 考 文 献:

[1] 陶佩君,王娜,周志军,等. 河北省黑龙港地区农业节水技术及其应用选择分析[J]. 农业科技管理,2008,(2):34-37.

[2] 郝彦珍. 黑龙港砂土区农用地下水资源合理利用试验研究[D].石家庄:石家庄经济学院,2012.

[3] 郭晋襄,李志华,李会霞,等. 我国谷子生产中存在的问题及未来发展方向[J]. 中国种业,2014,(3):16-18.

[3] 李宝筏,刘安东,包文育,等.东北垄作滚动圆盘式耕播机[J].农业机械学报,2006,37(5):57-59.

[4] 高焕文,李问盈,李洪文.中国特色保护性耕作技术[J].农业工程学报,2003,19(3):1-4.

[5] 郎书文, 张玉祥, 石文学, 等. 土壤深松对玉米的影响[J]. 北京农业, 2014,(9):53-55.

[6] 罗红旗,高焕文,刘安东,等.玉米垄作免耕播种机研究[J].农业机械学报,2006,37(4): 45-63.

[7] 张艳红. 免耕对土壤水分影响的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2007, 2007,(2):21-23.

[8] 邵新庆. 水土保持耕作对夏种大豆生长动态及土壤理化性质的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2002.

[9] 苏子友. 保护性耕作对豫西黄土坡耕地水肥动态影响的研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2004.

[10] 郭瑶, 陈桂平, 王巧梅,等. 玉米免耕留膜可减少后茬轮作春小麦水氮用量[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(11):1679-1689.

[11] 王钧, 李广, 刘强. 基于 LSTM 神经网络模拟的陇中黄土高原沟壑区保护性耕作下土壤贮水量变化[J]. 中国生态农业学报, 2019(8):1226-1237.

[12] 王庆杰, 李洪文, 何进, 等. 大垄宽窄行免耕种植对土壤水分和玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8):39-43.

[13] 赵小蓉, 蒲波, 王昌桃, 等. 四川丘陵水旱轮作区保护性耕作对土壤水分和小麦产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009,27(4):185-189.

[14] 余海英, 彭文英, 马秀, 等. 免耕对北方旱作玉米土壤水分及物理性质的影响[J]. 应用生态学报, 2011,(1):103-108.

[15] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9):2326-2332.

[16] 刘定辉, 陈尚洪, 舒丽, 等. 四川盆地丘陵区秸秆还田少免耕对土壤水分特征的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6):119-122,128.

[17] 彭文英. 免耕措施对土壤水分及利用效率的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(2): 379-383.

[18] 周国勤,谢旭东,姜明波,等.不同播期豫南稻茬麦产量及其与气象因子的通径分析[J].河南农业科学,2019,48(9):23-29.

[19] 韩毅强,高亚梅,郑殿峰,等.利用播期研究气候条件对黑龙江春玉米产量性状的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(3):132-138.