

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2018.05.39

新复垦区春玉米生产适宜耕作方式试验研究

王娟, 仲昭易, 张瑜, 冯绍元

(扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏扬州 225009)

摘要: 为了探索改善新复垦区土壤环境的途径, 寻求适宜该区春玉米生长的耕作方式, 开展了传统耕作(CK)、秸秆深埋(BS)、地膜覆盖(FM)、地膜覆盖+秸秆深埋(FM+BS)4种措施下的田间试验, 对比研究了不同耕作方式下土壤水分、养分的动态变化及春玉米生长和产量状况, 并采用多维综合隶属度分析法对各耕作方式进行评价。结果表明: FM+BS处理提高了0~60 cm土层土壤含水量, 且优化了春玉米需水关键期土壤剖面水分分布。BS处理显著提高了土壤0~30 cm土层有机质含量。同时, BS、FM及FM+BS处理的玉米产量均显著高于CK。灰色多维综合隶属度综合评价结果表明, CK、BS、FM及FM+BS处理的评价等级分别为较差、一般、较好、优良。因此, FM+BS处理在新复垦区具有明显的蓄水保墒增肥效果, 并能初步改善农田土壤环境以获得春玉米高产稳产。本研究可为新复垦区春玉米生产适宜耕作方式的探索研究提供依据。

关键词: 新复垦区; 秸秆深埋; 地膜覆盖; 土壤含水量; 有机质; 综合隶属度

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)05-0236-07

Experimental research on appropriate tillage for spring maize growth in new reclaimed land

WANG Juan, ZHONG Zhaoyi, ZHANG Yu, FENG Shaoyuan

(School of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: In order to improve soil environment in new reclaimed land and seek an appropriate tillage management for spring maize, a field experiment was carried out with four treatments of tillage practices, including the traditional tillage (CK), plastic film mulching (FM), straw burying (BS) and straw burying and plastic film mulching (FM + BS). The effects of different tillage on soil water content and fertility dynamics as well as spring maize yield were studied, the tillage managements were evaluated by gray multidimensional comprehensive feudatory degree evaluation. The results indicated that FM + BS increased soil water content at 0 ~ 60 cm and improved moisture distribution of soil profile at critical period for water requirement. The average soil organic matter content at 0 ~ 30 cm under BS was significantly improved. The yields under BS, FM and FM + BS were significantly higher than CK. The results of gray multidimensional comprehensive feudatory degree evaluation showed that the grade of CK, BS, FM and FM + BS were poor, general, fair and good. Therefore the FM + BS showed a distinct effect on soil water preservation and fertility promotion, which initially improved the soil environment of new reclaimed land and ensured a higher production of spring maize. The results can provide basis for researching appropriate tillage management for spring maize growth in new reclaimed land.

Key words: new reclaimed land; straw burying; plastic film mulching; soil water content; soil organic matter; comprehensive feudatory degree

1 研究背景

土地资源是人类社会发展的重要基础。我国人多地少, 目前正处于快速工业化和城镇化阶段, 随着

社会经济的加速发展, 用于基础建设的土地面积激增, 而可用来补充耕地的后备土地资源日渐减少。在提高耕地单位面积生产力的同时如何高效地开发利用潜在土地资源, 成为目前农业发展中缓解我国

收稿日期: 2018-09-10; 修回日期: 2018-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51609209); 江苏省自然科学基金项目(BK20160471)

作者简介: 王娟(1988-), 女, 甘肃张掖人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事农业水土资源高效利用的研究。

通讯作者: 冯绍元(1963-), 男, 江西都昌人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉与水资源及水环境的研究。

人地矛盾、保障我国粮食安全和生态安全急需解决的问题^[1]。新复垦土地作为被重新利用的土地资源,原有的耕种条件较差,很难快速达到较高生产能力,同时存在着生态环境脆弱、潜在退化威胁大等问题。因此,提高并保证新复垦土地生产力对于土地资源的高效利用具有重要意义。

大量的研究表明,相对于传统耕作,地膜覆盖能蓄水保墒,调节土壤温度,抑制地表蒸发,为作物生长发育提供良好的农田环境,从而提高作物产量^[2-3]。秸秆深埋作为秸秆还田方式的一种,可以改善土壤结构,增加降雨拦蓄入渗,且通过秸秆自身腐解为土壤肥力的提升具有重要意义^[4-5]。已有研究多以地表覆盖或秸秆深埋单一措施为主,而在农田中将两种措施相结合能获得更好的潜在效果^[6-7]。然而,秸秆深埋及地膜覆盖在新复垦区土壤环境改良效果及农作物产量的影响方面的研究尚且较少。

本研究基于传统耕作(CK)、秸秆深埋(BS)、地膜覆盖(FM)、地膜覆盖+秸秆深埋(FM+BS)4种耕作方式在新复垦区农田开展试验,对0~100 cm土层春玉米土壤水分、养分及作物产量进行了测定和分析,探明不同耕作方式对土壤环境及春玉米生长和产量的影响效应,以期优选除最佳方式,为新复垦区土地资源的合理开发和高效利用提供理论基础和技术参考。

2 材料与方法

2.1 试验区概况

田间试验于2017年4-10月在扬州大学农水与

水文水生态试验场(32°20'N,119°23'E)进行。该试验场地属北亚热带湿润气候,气候温和,常年平均气温14.8℃,其中冬季1月温度最低,月平均气温约3.9℃,夏季7月温度最高,月平均气温26.9℃。全年无霜期共223 d,全年日平均气温≥10℃以上占233 d。常年光照充足,年日照时数约2 000 h,年平均总辐射量 4.84×10^6 kJ/m²。雨量充沛,年平均降水量1 063.2 mm,雨日110 d。降雨季节分布不均,夏季雨量约40.1%,冬季13.0%,全年70%左右的降雨量集中在4-9月,降雨强度以中小雨为主。

试验场于2016年建成,属于典型的新复垦土地。复垦前为荒地,且由于周边新建建筑物,田间有少量建筑垃圾,在建成试验场前做了清理,且对田面进行了整平等处理。经测定,试验区土壤主要为砂质壤土,表层土壤容重为1.37 g/cm³,饱和含水率38.05%,饱和导水率 8.07×10^{-4} cm/s,土壤颗粒级配及养分本底值如表1所示。

2.2 试验设计

当地传统耕作方式为地表均匀施底肥并用旋耕机进行5 cm表层浅翻耕,不做地膜或秸秆等其他任何处理。本试验以传统耕作(CK)为对照,设置秸秆深埋(BS)、地膜覆盖(FM)及秸秆深埋与地膜覆盖组合(FM+BS)共3个试验处理,每个处理3次重复,采用随机区组设计排列,每个小区面积10 m²(5 m×2 m),小区的东-西两侧人工开矩形排水沟,宽约50 cm,深约30 cm。耕作方式试验设计处理如表2所示。

秸秆深埋采用往季水稻秸秆,机械打碎至3~6 cm,用量约18 000 kg/hm²,地表土壤按0~20 cm和20~35 cm层依次取出,随后将之前挖出的土按原

表1 土壤理化性质

土层深度/ cm	颗粒组成/%			碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	土壤质地 (国际制)
	黏粒 (<0.002 mm)	粉砂粒 (0.002~0.02 mm)	砂粒 (0.02~2 mm)			
0~20	4.38	32.76	62.86	32.08	7.20	
20~40	4.93	33.57	61.50	44.42	10.68	砂质壤土
40~60	5.82	35.04	59.14	16.05	5.10	
60~80	5.40	39.53	55.07	11.58	3.63	

表2 耕作方式试验设计与处理

处 理	描 述
对照(CK)	传统耕作
秸秆深埋(BS)	传统耕作之上,秸秆均匀铺设于35 cm深度处,最后将挖出的土按原层回填并压实
地膜覆盖(FM)	传统耕作之上,全地表平铺普通透明聚氯乙烯膜(宽120 cm,厚约0.05 mm),膜与膜间不留空隙
地膜覆盖+秸秆深埋(FM+BS)	传统耕作之上,35 cm处理设秸秆,且在地表加盖地膜

层回填并压实。地膜覆盖采用全地表覆盖方式,薄膜相接处用土压实,且在膜上每隔 100 cm 压一条土带,以保证覆膜稳定。春玉米种植株行距为 40 × 50 cm。在播种前施底肥(N - P₂O₅ - K₂O 质量百分比含量为 15 - 15 - 15,总养分 ≥ 45%),全施肥量均 657 kg/hm²。除耕作方式不同外,其他田间管理措施如灌溉、施肥等均相同。供试春玉米品种为郑单 11 号,于 2017 年 4 月 15 日播种,7 月 26 日收获,全生育期共 101 d。

2.3 测定项目与方法

试验期间,分别于玉米播种期(4 月 15 日)、苗期(4 月 27 日)、拔节期(5 月 25 日)、抽雄期(6 月 3 日)、大喇叭口期(6 月 15 日)、灌浆期(6 月 27 日)、收获期(7 月 26 日)在各小区随机位置处通过土钻法采集土壤样品,取土深度均为 100 cm 共 7 层(0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30、30 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100 cm)。土钻取至目标深度处,混合该土层土壤,取适量装入自封袋并及时放入野外冷藏箱。将新鲜土壤样品带回实验室后,部分进行土壤含水量及硝态氮测定,其余风干、研磨、过筛以备后续指标测定。采用烘干法测定土壤含水量,重铬酸钾容量法测定有机质,碱解扩散法测定碱解氮。从玉米播种后 25 d 开始,每个小区选取有代表性的玉米植株 3 株,每 10 d 用钢卷尺测定株高、叶片的长度和宽度,用数显游标卡尺测定茎粗,叶面积指数通过估算法计算得出。在玉米收获期,每个小区随机选取 9 个穗测定其穗长、穗粗、百粒重、穗行数及行粒数;同时选取 10 株玉米穗进行脱粒,晒干后称取重量,作为产量;从已测产的玉米粒中每处理随机取 100 粒进行称重,重复 6 次,取 3 个重复小区的平均数作为各处理百粒重。

2.4 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2010 对试验数据进行表格统计,Origin 8.0 进行图形绘制,DPS V7.05 进行单因素方差分析(ANOVA),LSD 法显著性检验($p < 0.05$)。

2.5 灰色多维综合隶属度评价方法

灰色多维综合隶属度评价能同时兼顾多个目标性状,科学、合理地对待作物品种及方案方法进行评价,得到众多学者的共识^[8-9]。灰色多维综合隶属度评价步骤包括:(1)确定灰色系统中的参考数列和灰元,即设立评估对象,设定评语等级类别的界限值和评语集合;(2)假设任一方案的任一观测值为 x ,对其隶属度函数值的判断方法为,若 $x \leq L$,则 $f = x/L$;若 $L < x \leq 2L$, $f = (2L - x)/L$;若 $2L < x \leq 3L$,

$f = (3L - x)/L$;若 $x > 3L$, $f = (4L - x)/L$, L 为该观测指标即评价性状对应每个等级评语的界限值,以此确定各评价等级的隶属度函数子矩阵;(3)确定各观测指标的权重系数;(4)求出模糊关系矩阵,进行模糊合成运算,从而得出模糊综合评估矩阵;(5)依据最大隶属度原则得出各评估对象的模糊综合评价结果^[10]。

3 结果与讨论

3.1 不同耕作方式处理对土壤水分的影响

3.1.1 玉米根系层(0 ~ 60 cm)土壤水分变化及差异 作物吸水过程与根系密切相关,根系生物量决定着作物产量高低^[11],而根系层土壤水分状况影响着作物根系发育。由于春玉米生长初期常遇到干旱威胁,优化田间土壤水分状况对春玉米的生长发育及产量形成至关重要。图 1 为春玉米全生育期主要根系层 0 ~ 60 cm 土层土壤平均含水量动态变化。

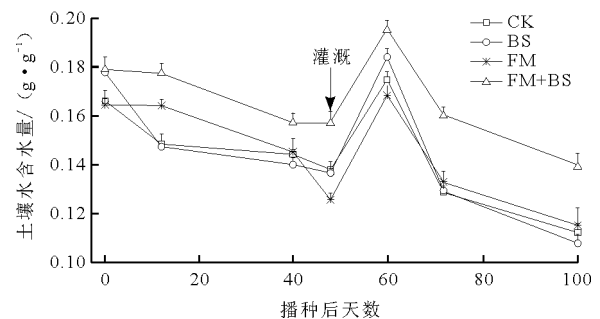


图 1 春玉米全生育期 0 ~ 60 cm 土壤水分动态变化

由图 1 可知,各处理土壤水分变化趋势大致相同,随着地表蒸发及春玉米生长耗水,土壤水分持续下降,直至灌水后出现回升,随后继续降低。FM 处理 0 ~ 60 cm 土层土壤水分播种后下降幅度较缓,而在灌水前出现谷值(0.126),低于其他处理。这是因为土壤水分主要受降雨入渗、地表蒸发及作物自身耗水的影响,地膜覆盖阻隔了大气与地表的水分交换,有效抑制了地表土壤蒸发,将水分最大程度的贮存在作物根系层,达到持续保墒的效果^[7, 12-13]。然而,灌水前土壤水分的输入以降雨为主,FM 全地表地膜在阻断土表蒸发的同时妨碍了降雨入渗,从而在试验小区局部发生膜上径流流失。FM + BS 处理土壤水分均高于其他处理,这是除地表覆膜降低了蒸发之外,深层的秸秆层阻断了土壤毛管的输水作用,从而将土壤水分封存在深层土壤,提高了土壤保水能力。尤其在春玉米生长前期,降雨较少,玉米根系主要分布于表土 0 ~ 20 cm 处,无隔层处理深层

土壤水分通过强烈的毛管力上移,补充春玉米生长的水分需求。

众多的研究表明,秸秆深埋提高了土壤孔隙度,改善了土壤结构,能提高土壤对雨水的拦蓄能力^[14-16],然而本研究中,BS与CK处理土壤含水量差异不大,且变化趋势基本一致,这可能是因为在本试验中秸秆埋设深度较深,对表面土壤的入渗及水分状况影响不大。在后续研究应注重秸秆埋设深度对土壤水分的影响。张瑜等^[5]的研究对60~100 cm的深层水分进行了分析,结果表明拔节期~灌浆期CK、BS、FM、FM+BS处理深层土壤的平均含水率分别较苗期~拔节期增加3.68%、2.64%、6.56%和

6.43%,其原因在于春玉米生长中后期,充足的降雨量对土壤水库进行了补充。

3.1.2 春玉米生长水分敏感期土壤剖面水分状况

众多研究表明,玉米拔节期土壤水分的不足会影响花后光合同化产物的积累和花前贮藏物质的再转运,从而抑制果穗发育,并最终影响籽粒灌浆导致减产^[17-18]。玉米品种耐旱试验结果表明,玉米抽雄期、大喇叭口期水分胁迫使春玉米减产最重,苗期和拔节期复水后,玉米植株可快速弥补部分或全部因前期干旱而减少的生长量^[19]。基于前人研究结果,本文对比分析了春玉米拔节期和大喇叭口期各处理土壤剖面含水量分布情况,如图2所示。

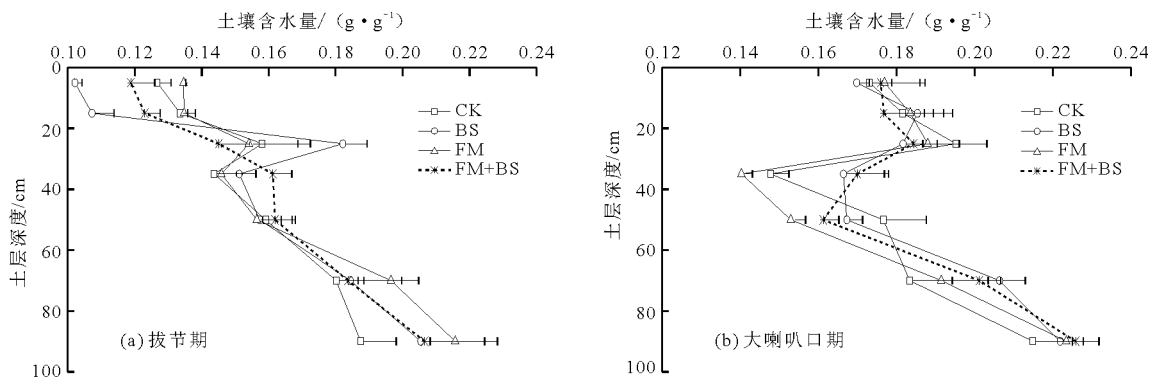


图2 春玉米拔节期及大喇叭口期土壤剖面含水量分布

由图2可知,BS处理表层(0~20 cm)土壤含水量均低于其他处理,但拔节期20~40 cm深度处土壤水分相比FM+BS、FM和CK处理分别高8.8%、11.1%、10.3%。这可能是因为秸秆深埋改善了土壤孔隙状况,从而加速了土表水分蒸发^[15],但由于秸秆隔层阻断了土壤毛管的向上输水作用,导致秸秆埋设层土壤水分高于其他处理^[16]。拔节期60~100 cm土层,FM处理土壤含水量分别较CK、BS、FM+BS高9.7%、5.7%、5.6%,体现了地膜覆盖较好的蓄水保墒能力,为后期玉米的生长提供水分保障^[2]。大喇叭口期土壤含水量在降雨后测定,由于降雨补充了土壤水库,各处理浅层土壤水分差异不大。大喇叭口期,玉米生长耗水量增加,土壤水势梯度加大,底层土壤水在毛管力作用下迅速上移,CK处理40~60 cm处土壤水分均高于其他处理,地膜覆盖处理含水量最低(0.153),这可能是因为地膜覆盖降低了土壤垂向蒸发,深层土壤对该层土壤的补给较少^[7]。

3.2 不同处理下土壤养分动态

地表覆膜改变了土壤水热状况,从而对土壤酶活性及微生物活动产生影响,表现为土壤养分状况改变。同时,秸秆作为介质加入土壤,也会引起土壤

肥力改变^[4]。表3和表4分别统计了春玉米全生育期不同土层深度处有机质(SOM)和碱解氮(AN)的均值,用以反映不同处理下土壤养分的整体状况。

由表3可知,在土壤表层0~10 cm处和20~30 cm深度处,BS处理全生育期有机质均值显著高于对照处理($P < 0.05$),这主要是因为深埋的秸秆层为土壤中微生物提供了充足的能量和基础源物质,且提高了微生物和土壤酶活性,为土壤生化反应的进行提供了有利条件^[20]。在30~40 cm处,FM+BS处理SOM均值较CK、BS、FM处理下分别高出17.55%、3.13%和4.34%。这是由于地表覆膜的作用,改善了土壤水热状况,加速了秸秆层的腐解,从而释放更多的有机态养分,提高土壤肥力^[21-22]。王胜楠等^[23]重点研究了秸秆深还田对土壤有机碳及其组分的影响,研究结果显示秸秆层土壤有机碳含量显著升高。值得一提的是在春玉米生育期内FM处理下SOM均值在10~20 cm土层显著低于其他处理,而在40~60 cm土层则显著高于其他处理($P < 0.05$),众多学者在关于地膜覆盖的研究中也指出,地膜覆盖导致土壤温度升高,从而加剧了有机质的分解和养分释放,加速了土壤碳的矿化过程,导

致有机质含量较低^[24-25],尤其在春玉米生育后期,耕层有机碳含量显著低于对照^[6]。

各处理 AN 均值仅在 0~20cm 土层表现出显著差异,碱解氮运移与土壤水分密切相关,全生育期 AN 均值消减了其在各生育期的差异。由表 4 可知,0~10 cm 土层,FM+BS 与 BS 处理 AN 均值显著高于 FM 处理 ($P < 0.05$),且 BS 处理 10~20 cm 土层 AN 含量显著高于 FM 和 CK ($P < 0.05$),且进一步数据分析发现,收获期土壤 AN 含量表现为 BS > FM + BS > CK > FM,说明深埋的秸秆层在土壤中腐烂分解后可将其在生长期留存在植株体内的养分回归到土壤中,继续可以发挥其供氮能力,表现为土壤氮素的累积和供氮能力的提高,这与前人的研

究结果是一致的。

3.3 春玉米生长状况及产量

对收获期春玉米株高、茎粗、叶面积指数和春玉米产量及其构成的统计分析结果表明(表 5),FM+BS 处理收获期株高显著高于其他处理 ($P < 0.05$),但各处理春玉米茎粗与叶面积指数均无显著差异。

春玉米产量与生长状况表现出很强的相关性,FM+BS 处理春玉米穗长、百粒重和产量均显著高于其他处理 ($P < 0.05$),这与前人在其他类型土壤中的研究结果一致^[2,26-27]。这主要是因为 FM+BS 有利的水热和土壤养分条件下为春玉米生长发育提供了良好的基础^[21-22,28]。

表 3 春玉米全生育期不同土层土壤有机质(SOM)均值

处理	土层深度/cm						均值
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~60	60~80	
CK	5.46b	6.32a	10.52b	7.84b	4.97b	4.20a	6.08
BS	6.33a	7.26a	12.73a	8.96ab	5.03b	3.81a	6.73
FM	5.87ab	5.35b	12.00ab	8.84ab	5.96a	3.71a	6.36
FM+BS	5.70ab	7.34a	12.07ab	9.22a	5.33ab	3.63a	6.60

注:表中小写字母标记 5% 显著水平,字母相同表示数据差异不显著,字母不同则表示差异显著,下同。

表 4 春玉米生育期内不同土层土壤碱解氮(AN)均值

处理	土层深度/cm						均值
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~60	60~80	
CK	34.22ab	36.53bc	54.89a	44.87a	32.57a	26.11a	35.44
BS	44.26a	48.96a	64.55a	41.94a	28.02a	27.07a	38.34
FM	27.82b	27.32c	57.36a	48.94a	36.07a	26.25a	34.24
FM+BS	42.16a	46.42ab	65.17a	46.35a	33.62a	26.99a	40.43

表 5 不同处理下春玉米生长及产量状况

处理	株高/cm	叶面积指数	茎粗/cm	穗长/cm	百粒重/g	产量/(kg·hm ⁻²)
CK	220.97 ± 3.60b	2.69 ± 0.17a	27.74 ± 0.51a	17.65 ± 0.74c	23.55 ± 0.43d	7118.3 ± 236.8d
BS	223.07 ± 3.96b	2.75 ± 0.15a	28.42 ± 0.23a	18.35 ± 0.21b	24.83 ± 0.86b	7863.3 ± 411.0b
FM	220.47 ± 4.34b	2.83 ± 0.15a	27.99 ± 1.17a	17.13 ± 0.44c	24.56 ± 0.09c	7518.6 ± 302.6c
FM+BS	238.07 ± 3.34a	2.92 ± 0.19a	29.49 ± 0.76a	19.54 ± 0.27a	27.34 ± 0.27a	8253.3 ± 470.1a

3.4 对不同耕作方式的评价

基于上述不同耕作方式下土壤水分、碱解氮、有机质含量的分析,以及春玉米株高、叶面积指数和产量的统计,采用多维综合隶属度评价法对各不同耕作措施进行综合评价,从而合理客观地优选新复垦土地适宜的改良措施。

3.4.1 选取评价指标 依据灰色多维综合隶属度评价指标选取原则,表 6 中列出了选取的 6 类观测指标,用来代表待评价方案处理在不同评价指标方面的优劣性。

3.4.2 确定各观测指标等级界限值 采用灰色多维综合隶属度评价中较常见的 4 等级评语(优良,

较好,一般,较差)对各处理方案进行评价。各项观测值的最大值和最小值即为该指标“优良”和“较差”等级的界限值,“较好”和“一般”的界限值则介于二者中间。依照此方法划分各观测指标界定结果如表 6 所示。

表 6 评价指标评语等级界限值

评价指标	优	良	中	差
含水量	0.166	0.159	0.152	0.145
碱解氮含量/(mg·kg ⁻¹)	40.430	38.367	36.303	34.240
有机质含量/(g·kg ⁻¹)	6.730	6.513	6.297	6.080
株高/cm	238.07	232.20	226.33	220.47
叶面积指数	2.92	2.85	2.77	2.69
产量/(kg·hm ⁻²)	8253.30	7874.97	7496.63	7118.30

3.4.3 构建各评语等级隶属度函数子矩阵 假设 4 个待评价方案组成评价对象集合 $M = (m_1, m_2, m_3, m_4)$, 所要评价的 6 类观测指标组成评价性状集合 $N = (n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6)$, 评语集 $E = (\text{优良}, \text{较好}, \text{一般}, \text{较差})$, M 方案第 N 个观测值的 4 个等级隶属度函数值为 $F(f^{\text{优良}}, f^{\text{较好}}, f^{\text{一般}}, f^{\text{较差}})$ 。得到 4 个待评价方案 6 项观测指标的等级 f 值所构成的隶属度函数矩阵,如下:

$$\begin{aligned}
 f^{\text{优良}} &= \begin{pmatrix} 1.00 & 1.00 & 0.98 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ 0.88 & 0.95 & 1.00 & 0.94 & 0.94 & 0.95 \\ 0.87 & 0.85 & 0.95 & 0.93 & 0.97 & 0.91 \\ 0.87 & 0.88 & 0.90 & 0.93 & 0.92 & 0.86 \end{pmatrix} \\
 f^{\text{较好}} &= \begin{pmatrix} 0.95 & 0.95 & 0.99 & 0.97 & 0.97 & 0.95 \\ 0.92 & 1.00 & 0.97 & 0.96 & 0.97 & 1.00 \\ 0.91 & 0.89 & 0.98 & 0.95 & 1.00 & 0.95 \\ 0.91 & 0.92 & 0.93 & 0.95 & 0.94 & 0.90 \end{pmatrix} \\
 f^{\text{一般}} &= \begin{pmatrix} 0.90 & 0.89 & 0.95 & 0.95 & 0.94 & 0.90 \\ 0.96 & 0.94 & 0.93 & 0.99 & 1.00 & 0.95 \\ 0.96 & 0.94 & 0.99 & 0.97 & 1.00 & 0.95 \\ 0.95 & 0.98 & 0.97 & 0.98 & 0.97 & 0.95 \end{pmatrix} \\
 f^{\text{较差}} &= \begin{pmatrix} 0.85 & 0.82 & 0.91 & 0.92 & 0.91 & 0.84 \\ 0.99 & 0.88 & 0.89 & 0.99 & 0.98 & 0.90 \\ 1.00 & 1.00 & 0.95 & 1.00 & 0.95 & 0.94 \\ 1.00 & 0.96 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

3.4.4 确定观测指标权重 所选的 6 类观测指标在方案评估中所占的比重不同,需根据其重要程度来确定权重系数。对于多指标综合评价方法权重系数的选择,目前常用的主要有专家咨询权数法、因子分析权数法、信息量权数法、独立性权数法、主成分

分析法、层次分析法、优序图法、熵权法等^[29-30]。在本文中选用专家咨询权数法确定各指标权重系数,得到土壤含水量,碱解氮含量,有机质含量,春玉米株高,叶面积指数,产量的权重向量 $W = [0.18, 0.16, 0.16, 0.15, 0.15, 0.22]^T$ 。

3.4.5 综合隶属度计算 通过模糊运算 $R = W \cdot \sum f$ 计算各评价方案的综合隶属度矩阵如下所示:

$$R_{ij} = \begin{pmatrix} 0.997 & 0.964 & 0.920 & 0.873 \\ 0.942 & 0.969 & 0.961 & 0.935 \\ 0.910 & 0.946 & 0.974 & 0.973 \\ 0.891 & 0.926 & 0.964 & 0.994 \end{pmatrix}$$

$$R_i = \max_{1 \leq j \leq 4} R_j^i \tag{1}$$

式中: R 为综合隶属度值。

上述矩阵 R 的行即表示各待评价方案,纵列则分别对应该方案在“优良”,“较好”,“一般”,“较差”级别的隶属度值。依据灰色多维综合隶属度评价原则,某方案 M 的评价结果为矩阵 R 中该行最大数值所对应的等级。对于等级相同的处理,则比较对应等级隶属度数值的大小,数值较大的为较优处理。基于此,得出本试验中 CK、BS、FM 及 FM + BS 处理的优劣等级分别为较差、一般、较好、优良,说明秸秆深埋结合地表覆膜处理为适宜该新复垦区春玉米生产较为适宜的耕作措施。

4 结 论

(1)春玉米生育期内,FM + BS 处理提高了 0 ~ 60 cm 土层土壤含水量,且优化了春玉米需水关键期土壤剖面水分分布,满足作物对水分的需求,体现了明显的蓄水保墒效果。

(2)土壤有机质和碱解氮含量表现为 BS > FM + BS > FM > CK 和 BS > FM + BS > CK > FM 的趋势。BS 显著提高了土壤表层 0 ~ 30 cm 有机质含量 ($P < 0.05$),有效改善了土壤养分水平和供给能力,而 FM 在提高土壤养分方面优势并不明显。

(3)FM + BS 处理显著提高了收获期春玉米株高、穗长、百粒重和产量。

(4)采用多维综合隶属度综合评价法对各耕作方式进行评价,结果可为适宜新复垦区春玉米生长的耕作措施的探索研究提供依据。本文重点讨论了秸秆埋设深度为 35 cm 时土壤的水分养分状况,对于秸秆层适宜的埋设深度还需要进一步研究探讨。

参考文献:

[1] 易 玲, 张增祥, 汪 潇, 等. 近 30 年中国主要耕地后备资源

- 的时空变化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 1-12.
- [2] 王磊, 樊廷录, 赵刚, 等. 地膜覆盖对不同株型春玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(1): 16-20.
- [3] WU Meiyuan, WU Lianghuan, ZHAO Limei, et al. Effects of continuous plastic film mulching on paddy soil bacterial diversity [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B*, 2009, 59(3): 286-294.
- [4] 孔雪静. 地膜覆盖和秸秆还田对玉米地与土壤氮素转化相关的土壤酶活性影响研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [5] 张瑜, 冯绍元, 苏童, 等. 不同耕作方式下新复垦区春玉米试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8): 64-70.
- [6] 毛海兰, 王俊, 付鑫, 等. 秸秆和地膜覆盖条件下玉米农田土壤有机碳组分生长季动态[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(3): 347-356.
- [7] 赵永敢, 王婧, 李玉义, 等. 秸秆隔层与地覆膜盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 109-117.
- [8] 王娟. 旱作枣树覆盖耕作土壤水分养分动态模拟试验研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [9] 邢晓宁, 魏林楠, 王海莉, 等. 灰色多维综合隶属度在评价花生新品种中的应用[J]. 农业科技通讯, 2016(5): 78-80.
- [10] 文建成, 符菊芬, 陈学宽, 等. 甘蔗品种灰色模糊多维综合评估分析[J]. 中国糖料, 2001(3): 5-8.
- [11] 刘战东, 刘祖贵, 俞建河, 等. 地下水埋深对玉米生长发育及水分利用的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(7): 617-624.
- [12] LIU Xiuhua, HE Baolin, YI Xiu, et al. The soil water dynamics and hydraulic processes of crops with plastic film mulching in terraced dryland fields on the Loess Plateau [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(9): 809.
- [13] 张俊鹏, 刘祖贵, 孙景生, 等. 不同水分和覆盖处理对土壤水热和夏玉米生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(2): 25-28+60.
- [14] 李波, 陈天助, 姚名泽, 等. 东北半湿润地区深埋秸秆周围土壤水分的动态变化[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(9): 51-55.
- [15] 李芙蓉, 杨劲松, 吴亚坤, 等. 不同秸秆埋深对苏北滩涂盐渍土水盐动态变化的影响[J]. 土壤, 2013, 45(6): 1101-1107.
- [16] 张帅, 孔德刚, 常晓慧, 等. 秸秆深施对土壤蓄水能力的影响[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(6): 127-129.
- [17] 刘战东, 肖俊夫, 南纪琴, 等. 晋中地区不同灌水处理对春玉米形态指标、耗水量及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2011, 20(10): 43-48.
- [18] 邱新强, 路振广, 张玉顺, 等. 不同生育时期干旱对夏玉米耗水及水分利用效率的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(27): 68-75.
- [19] 白向历, 孙世贤, 杨国航, 等. 不同生育时期水分胁迫对玉米产量及生长发育的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(2): 60-63.
- [20] 王应, 袁建国. 秸秆还田对农田土壤有机质提升的探索研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2007, 27(6): 120-121+126.
- [21] HUO Long, PANG Huancheng, ZHAO Yonggan, et al. Buried straw layer plus plastic mulching improves soil organic carbon fractions in an arid saline soil from Northwest China [J]. *Soil & Tillage Research*, 2017, 165: 286-293.
- [22] LI Yuyi, PANG Huancheng, HAN Xiufang, et al. Buried straw layer and plastic mulching increase microflora diversity in salinized soil [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, 15(7): 1602-1611.
- [23] 王胜楠, 邹洪涛, 张玉龙, 等. 秸秆集中深还田对土壤水分特性及有机碳组分的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(1): 154-158.
- [24] WU Meiyuan, HAO Ruochao, WU Lianghuan. Effects of continuous plastic film mulching on soil bacterial diversity, organic matter and rice water use efficiency [J]. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2016(4): 1-6.
- [25] 卜玉山, 邵海林, 王建程, 等. 秸秆与地膜覆盖春玉米和春小麦耕层土壤碳氮动态[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 322-326.
- [26] 殷涛, 何文清, 严昌荣, 等. 地膜秸秆双覆盖对免耕种植玉米田土壤水热效应的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 78-87.
- [27] MWANGO S B, MSANYA B M, MTAKWA P W, et al. Effectiveness of mulching under miraba in controlling soil erosion, fertility restoration and crop yield in the Usambara Mountains, Tanzania [J]. *Land Degradation & Development*, 2016, 27(4): 1266-1275.
- [28] WANG Xiaojuan, JIA Zhikuan, LIANG Lianyou, et al. Changes in soil characteristics and maize yield under straw returning system in dryland farming [J]. *Field Crops Research*, 2018, 218: 11-17.
- [29] 李凤瑞, 张东楼, 史加亮, 等. 灰色多维综合隶属度评估法对短季棉新品种(系)的分析评价[J]. 山东农业科学, 2014, 46(12): 23-26+30.
- [30] 王晖, 陈丽, 陈垦, 等. 多指标综合评价方法及权重系数的选择[J]. 广东药学院学报, 2007, 23(5): 583-589.