

秋耕覆盖对土壤水热肥与马铃薯生长的影响分析

侯贤清 李 荣
(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘要:为探明秋耕覆盖措施下农田土壤水热肥特性对旱作马铃薯生长及产量的影响,于2013—2016年在宁南旱区秋作物收获后,通过设置不同耕作覆盖措施,研究马铃薯生育期0~200 cm层土壤贮水量、0~25 cm耕层土壤温度和0~40 cm层土壤养分含量的动态变化,以及对马铃薯生长和产量的影响。结果表明,耕作方式、覆盖措施及二者交互作用可显著影响马铃薯播种期土壤贮水量,免耕秸秆覆盖、深松秸秆覆盖处理保水效果最佳,平均土壤贮水量较翻耕不覆盖处理分别提高14.4%和14.7%;耕作方式、覆盖措施及二者交互作用对马铃薯关键生育期土壤贮水量影响显著,深松秸秆覆盖处理改善土壤水分效果最佳,平均土壤贮水量较翻耕不覆盖处理提高20.7%。在马铃薯播种期,耕作方式、覆盖措施及二者交互作用对耕层土壤温度影响显著,但随着生育期的推进其影响程度减小;同一耕作方式下的平均耕层土壤温度,地膜覆盖处理较不覆盖处理显著提高3.6℃,而秸秆覆盖处理显著降低1.4℃。经过3年秋耕覆盖后,耕作与覆盖交互作用对0~40 cm层土壤养分各指标影响均呈极显著水平,在所有处理组合中,免耕秸秆覆盖、深松秸秆覆盖处理的土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量较高,而翻耕不覆盖处理最低。同一耕作方式下,地膜覆盖的保温效应对马铃薯生育前期生长有促进作用,但后期高温不利于马铃薯生殖生长;秸秆覆盖在整个生育期具有稳温和降温效应,有利于马铃薯中后期生长。所有处理组合中,深松秸秆覆盖、免耕秸秆覆盖处理下马铃薯总产量和净收益较高,分别较翻耕不覆盖显著增产49.4%和38.3%,净收益分别提高129.1%和103.3%;深松地膜覆盖、深松秸秆覆盖处理对提高商品薯率效果较好,分别较翻耕不覆盖处理显著提高18.4%和16.2%。从经济与环境效益角度考虑,免耕、深松结合秸秆覆盖措施可调控农田土壤水、热及养分环境,实现马铃薯增产增效,在宁南半干旱区马铃薯生产中具有应用推广价值。

关键词: 马铃薯; 秋耕覆盖; 土壤水分; 土壤温度; 土壤养分; 产量

中图分类号: S157.4⁺2; S532 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)12-0262-14 OSID: 

Effects of Autumn Tillage with Mulching on Soil Water, Temperature and Nutrient and Potato Growth

HOU Xianqing LI Rong
(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to explore the effect of soil water, temperature and nutrient characteristics under autumn tillage with mulching practices on the growth and yield of dry-farming potato, a field experiment was conducted to study different tillage with mulching measures after the autumn crop harvest in potato cultivation of southern Ningxia between 2013 and 2016. Soil water at 0 ~ 200 cm layer, topsoil temperature at 0 ~ 25 cm layer and soil nutrient content at 0 ~ 40 cm layer, the growth and yield of potato were investigated. The results showed that the tillage methods, mulching measures, and their interactions had highly significant effects on the soil water storage during the potato sowing season, and treatments of no-tillage with straw mulch and subsoiling with straw mulch had the best effect of soil conservation. No-tillage with straw mulch and subsoiling with straw mulch significantly increased the mean soil water storage by 14.4% and 14.7%, respectively, compared with the plowing with no mulch. The tillage methods, mulching measures, and their interactions had significant effects on the soil water storage, and the improvement effect of subsoiling with straw mulch on soil water was the best. Subsoiling with straw

mulch significantly increased the mean soil water storage by 20.7% compared with the plowing with no mulch. The tillage methods, mulching measures, and their interactions significantly affected topsoil temperature, while a reduction in their effect as the growing season of potato was advanced. Among the tillage methods, the film mulch plots increased the mean topsoil temperature by 3.6°C, whereas the straw mulch plots reduced the temperature by 1.4°C during each potato growing season. Over the three years of the autumn tillage with mulching experiments, the interactions between tillage methods with mulching measures highly and significantly affected the indexes of soil nutrient. Among all of the treatments, the higher mean soil organic matter, total N, alkalyzable-N, available P and available K at 0~40 cm layer was obtained in the no-tillage with straw mulch and subsoiling with straw mulch treatments and the minimum in the PT × NM treatment. Among the tillage methods, the warming effect of subsoiling with film mulch treatment significantly promoted the growth of potato in the early stage, while the higher temperature during the later stage in subsoiling with film mulch was not conducive to the reproductive growth of potato. However, the stable temperature and cooling temperature effects of subsoiling with straw mulch treatment significantly promoted the growth of potato in the later growth period. Among all the treatment combinations, the mean potato total yields and net incomes under the subsoiling with straw mulch and no-tillage with straw mulch were the highest. The mean potato total yield was significantly increased by 49.4% and 38.3% under the subsoiling with straw mulch and no-tillage with straw mulch treatments, respectively, and the mean net income was increased by 129.1% and 103.3% when compared with plowing with no mulch treatment. However, the best marketable tuber rates were obtained under subsoiling with film mulch and subsoiling with straw mulch, which were significantly higher by 18.4% and 16.2% than that of plowing with no mulch. Taking together, in consideration of soil environmental and economic feasibility, it was recommend that the no-tillage and subsoiling combined with straw mulch practice was a more favorable practice for improving soil water, temperature and nutrient environment and potato productivity, and it had certain practical values in dryland potato cultivation of southern Ningxia.

Key words: potato; autumn tillage with mulch; soil water; soil temperature; soil nutrient; yield

0 引言

宁夏南部(简称“宁南”)半干旱区的农业生产主要依赖天然降水,年降水量 300~450 mm,年降水变率大,季节分配不均,其中 60%~70%集中在 7—9 月,且无效、微效降水日数多,有效降水利用效率低,水分供应不足是制约作物生长的主要因素^[1]。旱作农业区常年进行土壤频繁翻耕,破坏了土壤团粒结构,作物秸秆全部移走或就地焚烧致使土壤裸露,水热资源和养分损失严重,加剧了土壤质量的下降和生态环境的恶化^[2]。以少(深松)、免耕为代表的保护性耕作措施通过增加地表覆盖能有效增强夏秋降水就地入渗、休闲期土壤水分贮蓄,实现了有限降水资源的跨季、跨年利用,同时调控土壤中的水、肥、气、热对作物生长的协同作用,从而提高作物产量,保护性耕作是解决长期连续翻耕、旋耕弊病的有效措施^[3]。

耕作覆盖措施可通过耕作蓄水、覆盖保墒技术的综合应用,以最大程度降低地表水分蒸发,优化土壤水、热及养分环境与作物生长的协同作用,从而达到稳产高产的目的^[4~5]。耕作方式对土壤温度的影响主要通过对土壤孔隙度和水分的影响实现,覆盖措施下土壤水分由不同覆盖物的保水效果和保温性

质共同决定^[6],耕作结合覆盖措施会通过影响土壤水分及温度状况进而影响土壤养分的转化与含量水平^[7]。目前,耕作结合覆盖措施在改善土壤水热环境方面,已有许多学者进行了研究。汪可欣等^[8]研究表明,覆盖与压实结合耕作方式可调控播种至出苗期表层土壤温度,覆盖降温效果明显,压实处理具有一定增温作用,浅松压实覆盖在改善根区土壤环境方面具有一定优势。武淑娜等^[9]认为,传统耕作结合地膜覆盖在作物生长前期增温保墒、后期降温抑蒸,有利于改善土壤水热环境,符合大豆生长发育对环境的需求。YANG 等^[10]研究表明,将耕作方式与覆盖措施相结合,对改善土壤水热环境及作物生长均有积极的作用。然而,在研究耕作覆盖模式对旱地土壤水、热和养分环境与作物生长影响的同时,必须考虑二者的交互效应,以确定最有效的耕作覆盖措施,适应旱作区作物生育期多变的气候和环境条件^[3]。

马铃薯是宁南半干旱区重要的粮食作物。在马铃薯播种期,春旱突出、土壤低温及含水率、肥力不足,严重影响了马铃薯的前期生长^[1]。在马铃薯生育中后期,常处于伏旱阶段,高温胁迫对马铃薯生殖生长极为不利^[11]。前茬作物收获后在休闲期进行耕作结合覆盖措施,通过耕作蓄水、覆盖保墒保温的

协调互作,实现休闲期秋雨深蓄、跨季节利用,以协调土壤中的水、肥、气、热^[7,12]。前人多注重于单一的耕作方式或覆盖措施对休闲期覆盖和生育期覆盖进行研究,将耕作方式与覆盖措施及休闲期和生育期覆盖相结合的系统研究较少。本研究以“秋雨春用、春墒秋保”为目标,在秋作物收获后将耕作方式和覆盖措施集成在同一马铃薯栽培模式中,探讨耕作方式、覆盖措施及二者交互作用对土壤水分、温度、养分及马铃薯生长的影响,同步优化农田水、热、肥特性,提高马铃薯生长的水热、养分需求与农艺调控效应间的吻合度,以期明确适合宁南半干旱区土壤蓄墒调温保肥和稳产高效的耕作覆盖措施,为该区域马铃薯的可持续发展提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2013—2016年在宁夏回族自治区彭阳县城阳乡长城塬旱作农业试验站实施,研究区位于宁南旱区(106°48'E,35°51'N),海拔1 800 m,年平均降水量430.5 mm,60%~70%降水发生在7—9月。年平均气温8.1℃,无霜期155 d,属于典型的温带半干旱大陆性气候。该区光热资源丰富、昼夜温差大、气候冷凉,是马铃薯栽培适宜的生态区。2013—2014年、2014—2015年和2015—2016年降水总量分别为396.3、463.2、369.0 mm,其中休闲期(10月—次年4月)降水量分别为112.9、131.5、120.6 mm,马铃薯生长期(5—9月)降水量分别为283.4、331.7、248.4 mm。根据40年平均降水量(430.5 mm)和生长期平均降水量(337.8 mm)数据,2013—2014年为相对干旱年份,2014—2015年正常年份,2015—2016年为干旱年份。试验田为旱原地,土壤质地为黄绵土,播种前0~40 cm层土壤有机质质量比为7.5 g/kg,速效氮、磷、钾质量比分别为58.6、8.4、150.0 mg/kg,属于低等肥力水平。

1.2 试验设计与田间管理

试验采用双因素裂区设计,设耕作方式和覆盖措施两个因素,主处理为耕作方式,分别为免耕(NT)、深松(ST)、翻耕(PT)3种耕作方式;副处理为覆盖措施,分别为玉米秸秆覆盖(SM)、塑料地膜覆盖(FM)、不覆盖(NM)3种覆盖措施,以耕作方式和覆盖措施设置交叉处理,共9个处理组合,3次重复,27个小区,小区面积36 m²(4 m×9 m),随机区组排列。

2013年10月初,秋作收获后清除残茬及杂草进行耕作处理,然后结合覆盖措施。免耕处理:秋作收获后进行表土处理,结合覆盖措施进行休闲,次年

4月底穴播马铃薯,依次重复3年。深松处理:秋作收获后采用可调冀铲式深松机,进行间隔深松,耕作深度30~35 cm,间隔40 cm,然后结合覆盖措施进行休闲,次年4月底穴播马铃薯,依次重复3年。翻耕处理:秋作收获后采用铧式犁耕翻,耕作深度15~20 cm,耕后耙耢各1次,然后结合覆盖措施进行休闲,次年4月底穴播马铃薯,依次重复3年。

试验地前茬作物为春玉米,一直采用传统翻耕,马铃薯品种为陇薯3号,采用平作栽培方式,宽窄行种植(宽行60 cm,窄行40 cm),株距40 cm,全薯作种,穴播后覆土5 cm,种植密度5万株/hm²。玉米秸秆采用全生育期整秆覆盖,覆盖量9 000 kg/hm²,覆盖厚度5~8 cm;地膜为白色聚乙烯薄膜(宽0.8 m,厚0.008 mm)。试验期间无灌溉,苗期、现蕾期中耕培土2次,结合秋耕实行秋施肥,施腐熟农家肥(牛粪)30 t/hm²,尿素150 kg/hm²,磷酸二铵150 kg/hm²,硫酸钾150 kg/hm²,试验期间人工除草。马铃薯分别于2014年4月28日、2015年5月2日和2016年5月4日播种,于2014年10月3日、2015年9月23日和2016年10月2日收获。

1.3 指标测定

1.3.1 土壤含水率

在马铃薯播种期、现蕾期、块茎形成期、块茎膨大期和收获期作物种植行,采用土钻取土干燥法测定0~200 cm层土壤含水率,每20 cm为一层,3次重复。土壤贮水量计算式为

$$W=10h\gamma a$$

式中 W ——土壤贮水量,mm
 h ——土层深度,cm
 γ ——土壤容重,g/cm³
 a ——土壤质量含水率,%

1.3.2 土壤温度

在马铃薯播种期、现蕾期、块茎形成期、块茎膨大期和收获期,选择晴天采用曲管温度计测定08:00—18:00土壤5、10、15、20、25 cm层温度,每2 h记录1次读数;连续3 d并取其均值为代表值,平均值作为每个生育时期的土壤温度。

1.3.3 土壤养分含量

2013年试验处理前及2016年作物收获后,在种植行内用土钻按5点采样法分别采集各试验区0~20 cm和20~40 cm层混合土样500 g,装入自封袋中带回实验室风干、磨细,过1 mm和0.25 mm筛用于测定土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量。土壤有机质含量采用重铬酸钾容量-外加热法测定;土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定;土壤碱解氮含量采用碱解扩散法测定;有效磷含量采用钼

锑抗比色法测定;速效钾含量采用火焰光度法测定。

1.3.4 马铃薯生长指标

在马铃薯关键生育期(现蕾期、块茎形成期、块茎膨大期),每重复区随机选取 5 株测定与作物生长发育密切相关的株高、茎粗及地上部生物量。植株株高采用生理株高衡量,为地上茎基部到生长点的距离;主茎粗为近基部最粗处直径。植株地上部生物量包括地上部茎、叶生物量的总和。干物质量在 105℃杀青 30 min,80℃干燥至质量恒定后称量。

1.3.5 马铃薯产量

在马铃薯收获期,分小区进行测产,根据马铃薯商品薯分级标准分别记录大(单薯质量大于 150 g)、中(单薯质量 75 ~ 150 g)、小薯(单薯质量小于 75 g)质量,折算产量,并计算其商品薯率。商品薯率为单薯 75 g 以上的产量占马铃薯总产量百分比。

1.4 数据处理

采用 SPSS 18.0 进行裂区设计方差分析,最小显著差异法(LSD)进行多重比较,Excel 2003 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 秋耕覆盖对马铃薯生育期土壤水分的影响

3 年研究期间,耕作方式、覆盖措施及其交互作用对马铃薯播种期 0 ~ 200 cm 层土壤贮水量均有显著影响,这与休闲期降水量有关(表 1)。2014 年不同耕作覆盖措施下土壤贮水量均较试验处理前(0 ~ 200 cm 层基础贮水量均为 450.4 mm)有不同程度的增加。同一覆盖措施下耕作方式对土壤贮水量的影响不显著,而同一耕作方式下覆盖措施可显著增加土壤贮水量。FM、SM 处理土壤蓄水量较 NM 处理显著增加 7.8% 和 5.8%。在所有处理组合中,ST × FM 处理下土壤贮水量最高,NT × FM 处理次之,分别较 PT × NM 处理显著提高 9.3% 和 7.6%。2015 年和 2016 年,耕作方式、覆盖措施及二者交互作用均能显著影响播种期土壤贮水量。SM 和 FM 处理土壤贮水量分别较 NM 处理显著提高 16.5% 和 10.6%。在所有的处理组合中,ST × SM 处理平均土壤贮水量最高,NT × SM 处理次之,而 PT × NM 处理最低,分别较 PT × NM 处理显著提高 19.4% 和 18.7%。可见,耕作方式、覆盖措施及二者交互作用对马铃薯播种期土壤贮水量影响显著,以 NT × SM、ST × SM 处理保水效果最佳,其 3 年平均土壤贮水量分别较 PT × NM 处理显著提高 14.4% 和 14.7%。

秋耕覆盖措施可显著影响马铃薯关键生育期(现蕾期、块茎形成期和块茎膨大期)0 ~ 200 cm 层土壤贮水量,耕作方式对土壤贮水量影响显著,覆盖

措施、耕作与覆盖交互作用对土壤贮水量影响极显著(表 1)。马铃薯现蕾期,3 种耕作方式中 ST 处理平均土壤贮水量最高,其次为 NT 处理,PT 处理最低。在所有处理组合中,ST × SM 处理下平均土壤贮水量最高,而 PT × NM 处理最低,平均较 PT × NM 处理显著提高 19.0%。2014 年,同一耕作方式下不同覆盖措施,SM、FM 处理土壤贮水量分别显著高于 NM 处理 22.6% 和 11.4%。2015 年,与 NM 处理相比,免耕方式下 SM、FM 处理平均土壤贮水量分别显著提高 13.9% 和 9.1%,深松方式下分别显著提高 12.0% 和 7.7%,翻耕方式下分别显著提高 15.0% 和 12.8%。2016 年,FM、SM 处理平均土壤贮水量分别较 NM 显著提高 11.0% 和 9.4%。块茎形成期(7 月中旬),作物耗水量增加,各处理下 0 ~ 200 cm 层土壤贮水量急剧下降。3 年研究期间,同一耕作方式下 SM、FM 处理平均土壤贮水量均显著高于 NM。而 3 种耕作方式中土壤平均贮水量由大到小依次为 ST、NT、PT,ST 与 PT 处理间差异显著。在所有处理组合中,ST × SM 处理平均土壤贮水量最高,而 PT × NM 处理最低,平均较 PT × NM 显著提高 24.5%。8 月中旬—9 月初,马铃薯进入块茎膨大期,耗水大幅度增加,且蒸发强烈,使 0 ~ 200 cm 层土壤贮水量降至最低,3 年研究期间,同一耕作方式下 SM、FM 处理马铃薯关键生育期平均土壤贮水量分别显著高于 NM 处理 17.0% 和 11.6%,而同一覆盖措施下 ST 处理平均土壤贮水量最高,PT 处理最低,但处理间差异均不显著。在所有处理组合中,ST × SM 处理平均土壤贮水量较 PT × NM 处理显著提高 20.7%。

马铃薯收获期 0 ~ 200 cm 层土壤贮水量受覆盖措施和生育后期降水量的影响较大(表 1)。3 年研究期间,耕作方式对土壤贮水量的影响不显著,而覆盖措施影响极显著。同一覆盖措施下不同耕作方式平均土壤贮水量由大到小均表现为 ST、PT、NT,而处理间无显著差异。在同一耕作方式下不同覆盖措施平均土壤贮水量由大到小依次为 FM、SM、NM,与 NM 处理相比,FM、SM 处理分别显著增加 6.4% 和 4.0%。耕作与覆盖交互作用对收获期土壤贮水量影响显著,在 9 个处理组合中,ST × SM 处理平均土壤贮水量最高,NT × SM 处理次之,而 PT × NM 处理最低,其平均土壤贮水量分别较 PT × NM 处理显著提高 8.5% 和 8.0%。

2.2 秋耕覆盖对马铃薯生育期 0 ~ 25 cm 耕层土壤温度的影响

各耕作覆盖处理耕层土壤温度的季节或年际动态均相似,均受生育期气温和降水的影响(表 2)。

表 1 秋耕覆盖措施下马铃薯生育期 0 ~ 200 cm 层土壤贮水量

Tab. 1 Soil water storage (0 ~ 200 cm) in potato growth stage under autumn tillage with mulching practices mm							
年份	耕作方式	覆盖措施	播种期	现蕾期	块茎形成期	块茎膨大期	收获期
2014	NT	SM	506. 08 ^a	380. 64 ^a	363. 26 ^a	344. 31 ^a	485. 98 ^a
		FM	512. 40 ^a	372. 48 ^b	333. 12 ^b	323. 25 ^b	465. 20 ^b
		NM	476. 00 ^b	345. 58 ^c	303. 26 ^c	300. 79 ^c	471. 48 ^{ab}
	ST	SM	504. 40 ^b	431. 78 ^a	382. 92 ^a	360. 90 ^a	485. 24 ^a
		FM	520. 35 ^a	404. 92 ^b	353. 21 ^b	332. 08 ^b	467. 92 ^b
		NM	481. 40 ^c	368. 24 ^c	325. 80 ^c	302. 28 ^c	469. 14 ^b
	PT	SM	506. 57 ^a	426. 40 ^a	363. 40 ^a	330. 24 ^a	481. 48 ^a
		FM	512. 32 ^a	406. 60 ^b	329. 48 ^b	318. 92 ^b	464. 68 ^b
		NM	476. 20 ^b	363. 98 ^c	299. 78 ^c	302. 78 ^c	457. 96 ^b
	F	耕作	1. 5	9. 2 [*]	14. 4 [*]	10. 2 [*]	1. 5
		覆盖	286. 4 ^{**}	254. 7 ^{**}	219. 4 ^{**}	173. 3 ^{**}	134. 6 ^{**}
		耕作 × 覆盖	2. 3	23. 4 ^{**}	4. 5 [*]	7. 6 ^{**}	4. 8 [*]
2015	NT	SM	556. 59 ^a	469. 37 ^a	381. 44 ^a	357. 70 ^a	374. 83 ^a
		FM	523. 98 ^b	441. 31 ^b	366. 32 ^b	340. 19 ^b	367. 92 ^a
		NM	516. 56 ^b	413. 86 ^c	326. 82 ^c	311. 05 ^c	341. 90 ^b
	ST	SM	557. 57 ^a	466. 99 ^a	369. 93 ^a	344. 89 ^a	356. 02 ^b
		FM	524. 07 ^b	451. 30 ^b	352. 54 ^b	336. 49 ^b	385. 02 ^a
		NM	510. 26 ^c	430. 11 ^c	328. 34 ^c	312. 22 ^c	339. 76 ^c
	PT	SM	545. 94 ^a	445. 01 ^a	370. 29 ^a	338. 02 ^a	379. 45 ^a
		FM	518. 07 ^b	439. 34 ^b	361. 37 ^b	329. 43 ^b	364. 27 ^b
		NM	500. 64 ^c	398. 87 ^c	325. 59 ^c	307. 07 ^c	333. 40 ^c
	F	耕作	10. 8 [*]	13. 3 [*]	11. 7 [*]	9. 2 [*]	0. 9
		覆盖	700. 3 ^{**}	138. 6 ^{**}	568. 1 ^{**}	484. 0 ^{**}	111. 0 ^{**}
		耕作 × 覆盖	3. 3 [*]	6. 0 ^{**}	7. 0 ^{**}	8. 6 ^{**}	4. 4 [*]
2016	NT	SM	500. 73 ^a	441. 51 ^a	412. 40 ^a	375. 53 ^a	384. 27 ^a
		FM	486. 66 ^b	425. 04 ^b	408. 90 ^a	356. 10 ^b	370. 06 ^b
		NM	400. 31 ^c	354. 20 ^c	330. 64 ^b	319. 60 ^c	364. 30 ^b
	ST	SM	505. 38 ^a	425. 04 ^a	437. 26 ^a	395. 96 ^a	378. 50 ^a
		FM	485. 23 ^b	409. 31 ^b	409. 93 ^b	365. 42 ^b	366. 87 ^b
		NM	385. 51 ^c	361. 34 ^c	334. 14 ^c	320. 01 ^c	354. 53 ^c
	PT	SM	484. 26 ^a	417. 88 ^a	406. 85 ^a	389. 76 ^a	390. 47 ^a
		FM	452. 38 ^b	408. 61 ^b	395. 03 ^b	371. 87 ^b	382. 67 ^b
		NM	389. 93 ^c	349. 30 ^c	330. 21 ^c	318. 93 ^c	361. 67 ^c
	F	耕作	71. 6 ^{**}	9. 2 [*]	13. 5 [*]	11. 5 [*]	7. 0
		覆盖	829. 8 ^{**}	379. 9 ^{**}	514. 0 ^{**}	595. 7 ^{**}	135. 6 ^{**}
		耕作 × 覆盖	12. 0 ^{**}	6. 8 ^{**}	5. 9 ^{**}	6. 2 ^{**}	3. 6 [*]

注:不同小写字母表示同一耕作方式下覆盖处理间差异达到显著($P < 0.05$)水平。* 和 ** 分别表示差异达显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)水平。下同。

3 年研究期间,耕作方式、覆盖措施及其交互作用对耕层土壤温度的影响程度随生育期的推进而降低。同一覆盖措施下,ST 处理在马铃薯生长前期具有明显的增温效应,后期表现出一定的降温效应,PT 处理耕层土壤温度前期较低、后期较高,而 NT 处理介于二者之间;同一耕作方式下,FM 处理平均土壤温度始终最高,而 SM 处理最低。在马铃薯播种期,耕作方式、覆盖措施对耕层土壤温度的影响极显著,而耕作与覆盖交互作用影响显著。3 种耕作方式中,平均耕层土壤温度以 ST 处理最高(15.4℃),均显

著高于 NT、PT 处理,而 NT 与 PT 处理无显著差异。同一耕作方式下平均耕层土壤温度,与 NM 处理相比,FM 处理显著提高 3.6℃,而 SM 处理显著降低 1.4℃。在所有的处理组合中,ST × FM 处理平均耕层土壤温度最高(18.6℃),而 NT × SM 处理最低(12.3℃)。在马铃薯生长前期(现蕾期),耕作方式对耕层土壤温度无显著影响,而覆盖措施对耕层土壤温度影响极显著(表 2)。在同一耕作方式下,与 NM 处理相比,FM 处理平均土壤温度显著增加 2.6℃,但 SM 处理显著降低 3.1℃。耕作与覆盖对

耕层土壤温度的交互作用在 2014 年和 2016 年影响显著,而在 2015 年影响极显著。3 年研究期间,耕层土壤温度 FM 处理显著高于 NM,而 SM 处理显著降低。在所有处理组合中,NT×FM 处理平均耕层土壤温度最高(26.3℃),PT×SM 处理最低(19.7℃)。

表 2 秋耕覆盖措施下马铃薯生育期 0~25 cm 层土壤温度

Tab.2 Soil temperature (0~25 cm) during potato growth stage under autumn tillage with mulching practices ℃							
年份	耕作方式	覆盖措施	播种期	现蕾期	块茎形成期	块茎膨大期	收获期
2014	NT	SM	12.4 ^c	21.0 ^c	16.9 ^c	17.8 ^b	14.2 ^a
		FM	18.6 ^a	28.5 ^a	19.9 ^a	20.7 ^a	14.6 ^a
		NM	15.5 ^b	24.2 ^b	18.3 ^b	19.9 ^a	14.5 ^a
	ST	SM	14.4 ^c	21.3 ^b	17.8 ^b	19.2 ^c	15.2 ^a
		FM	20.6 ^a	27.3 ^a	20.1 ^a	24.3 ^a	15.6 ^a
		NM	16.2 ^b	27.8 ^a	19.3 ^{ab}	22.0 ^b	15.4 ^a
	PT	SM	13.5 ^c	20.6 ^b	16.7 ^c	18.0 ^c	14.4 ^a
		FM	17.5 ^a	27.9 ^a	22.7 ^a	26.0 ^a	14.8 ^a
		NM	15.3 ^b	26.5 ^a	18.9 ^b	21.5 ^b	14.6 ^a
	<i>F</i>	耕作	246.7 ^{**}	0.5	3.6	11.8 ^{**}	17.4 [*]
		覆盖	165.4 ^{**}	108.4 ^{**}	45.0 ^{**}	46.8 ^{**}	3.4
		耕作×覆盖	4.1 [*]	4.4 [*]	4.4 [*]	3.6 [*]	1.0
2015	NT	SM	10.2 ^c	17.5 ^c	19.3 ^c	13.4 ^c	15.3 ^a
		FM	16.6 ^a	23.0 ^a	26.4 ^a	19.0 ^a	15.7 ^a
		NM	13.1 ^b	19.6 ^b	23.2 ^b	15.6 ^b	15.5 ^a
	ST	SM	11.4 ^c	19.8 ^b	20.3 ^c	14.4 ^b	16.0 ^a
		FM	17.7 ^a	21.0 ^a	24.2 ^a	18.8 ^a	16.4 ^a
		NM	14.5 ^b	20.7 ^{ab}	22.1 ^b	15.2 ^b	16.2 ^a
	PT	SM	11.2 ^c	18.2 ^c	19.7 ^c	14.4 ^b	15.2 ^a
		FM	15.9 ^a	22.6 ^a	26.3 ^a	20.1 ^a	15.8 ^a
		NM	13.7 ^b	19.6 ^b	21.5 ^b	14.8 ^b	15.5 ^a
	<i>F</i>	耕作	59.1 ^{**}	0.7	12.4 ^{**}	2.8	12.6 [*]
		覆盖	394.8 ^{**}	54.4 ^{**}	78.4 ^{**}	56.6 ^{**}	2.7
		耕作×覆盖	3.8 [*]	7.47 ^{**}	3.06 [*]	1.0	0.3
2016	NT	SM	14.2 ^b	21.3 ^c	23.8 ^c	17.5 ^b	12.3 ^a
		FM	18.6 ^a	27.3 ^a	30.2 ^a	18.2 ^{ab}	12.8 ^a
		NM	13.4 ^c	24.0 ^b	27.9 ^b	20.1 ^a	12.5 ^a
	ST	SM	13.8 ^b	20.8 ^c	23.9 ^b	17.4 ^a	13.4 ^a
		FM	17.4 ^a	26.9 ^a	27.5 ^a	18.9 ^a	13.7 ^a
		NM	13.0 ^c	22.3 ^b	27.2 ^a	18.0 ^a	13.4 ^a
	PT	SM	15.3 ^b	20.3 ^c	24.3 ^c	17.1 ^a	12.5 ^a
		FM	18.0 ^a	27.5 ^a	27.7 ^a	18.2 ^a	12.9 ^a
		NM	14.0 ^c	24.2 ^b	26.7 ^b	17.9 ^a	12.6 ^a
	<i>F</i>	耕作	26.8 ^{**}	1.4	4.2	6.3	15.0 [*]
		覆盖	300.3 ^{**}	425.6 ^{**}	101.8 ^{**}	8.0 ^{**}	3.9
		耕作×覆盖	3.5 [*]	5.3 [*]	4.7 [*]	3.2	0.4

随植物冠层的生长,到马铃薯生长中期(块茎形成期)地表遮蔽,耕层土壤温度各处理间差异逐渐减小(表 2)。研究期间 3 种耕作方式下,与 NM 处理相比,FM 处理平均耕层土壤温度显著提高 2.5℃,而 SM 处理显著降低 2.2℃。在 2014 年和 2016 年,覆盖措施、耕作与覆盖交互作用对耕层土壤温度有显著影响,而耕作方式无显著影响。在 2015 年,耕作方式、覆盖措施及其交互作用对耕层土壤温度均有显著影响。在生育中后期(块茎膨大期),耕作方式下各覆盖处理耕层土壤温度差异有所减小,但均达到极显著水平(表 2),FM 处理较 NM 处理提高 2.1℃,而 SM 处理降低 1.8℃。2014 年,耕作方式、覆盖措施及其二者交互作用对耕层土壤温度有显著影响,而在 2015 年和 2016 年耕作方式、耕作与覆盖交互作用均无显著影响。3 年研究期间,PT×FM 处理平均耕层土壤温度最高

(21.4℃),而 NT×SM 处理最低(16.2℃)。生长后期(收获期),耕作方式对耕层土壤温度有显著影响,ST 处理耕层土壤温度显著高于 NT、PT 处理,而覆盖措施及耕作与覆盖交互作用均无显著影响。在所有处理组合中,ST×FM 处理平均耕层土壤温度最高(15.2℃),而 NT×SM 处理最低(14.0℃)。

2.3 秋耕覆盖对 0~40 cm 层土壤养分的影响

经过 3 年不同耕作覆盖处理后,土壤肥力状况得到不同程度的改善。随着试验年限的增加,2016 年收获期各耕作覆盖处理 0~40 cm 层各土壤养分指标均明显高于 2013 年试验处理前(表 3)。耕作方式对土壤有机质、全氮含量影响显著,而覆盖措施及耕作与覆盖交互作用影响均呈极显著水平。同一覆盖措施下,土壤有机质含量由大到小依次为 NT、ST、PT,而土壤全氮含量由大到小依次为 ST、NT、PT。同一耕作方式下,SM、FM 处理土壤平均有机质和全氮含量均显著高于 NM 处理,SM、FM 处理土壤有机质含量较 NT 处理分别提高 17.9% 和 6.3%,土壤全氮含量分别提高 23.7% 和 10.4%。在所有处理组合中,耕层土壤有机质和全氮含量均以 NT×SM 处理最高,而 PT×NM 处理最低,NT×SM 处理

平均土壤有机质和全氮含量分别较 PT×NM 处理显著提高 38.3% 和 23.6%。

耕作方式对土壤碱解氮和速效钾含量影响极显著,对土壤有效磷含量影响显著,而覆盖措施及耕作与覆盖交互作用对土壤速效养分各指标影响均极显著。这表明土壤速效养分含量受覆盖措施和耕作方式影响较大,秋耕覆盖使土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量均显著增加。同一覆盖措施下,土壤碱解氮和速效钾含量由大到小均表现为 ST、NT、PT,而土壤有效磷含量由大到小表现为 NT、ST、PT。同一耕作方式下,SM、FM 处理土壤速效养分各指标均显著高于 NM 处理,SM、FM 处理土壤碱解氮含量较 NT 处理分别提高 19.2% 和 13.6%,土壤有效磷含量分别提高 19.8% 和 13.6%,土壤速效钾含量分别提高 21.2% 和 15.3%。在所有处理组合中,土壤碱解氮和速效钾含量均为 ST×SM 处理最高,NT×SM 处理土壤有效磷含量最高,而 PT×NM 处理土壤速效养分各指标均最低,ST×SM 处理平均土壤碱解氮和速效钾含量分别较 PT×NM 处理显著提高 26.6% 和 27.3%,NT×SM 处理土壤有效磷含量较 PT×NM 处理显著提高 26.2%。

表 3 秋耕覆盖措施下 0~40 cm 层土壤养分含量

Tab.3 Soil nutrient content in 0~40 cm layer under autumn tillage with mulching practices

年份	耕作方式	覆盖措施	有机质质量比/ (g·kg ⁻¹)	全氮质量比/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮质量比/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷质量比/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾质量比/ (mg·kg ⁻¹)
2013		处理前	7.50	0.60	58.60	8.40	150.0
		SM	9.72 ^a	0.89 ^a	73.90 ^a	11.09 ^a	200.53 ^a
		NT	8.65 ^b	0.78 ^b	74.31 ^a	10.70 ^a	194.50 ^b
2016		NM	7.86 ^c	0.75 ^b	63.90 ^b	9.33 ^b	163.07 ^c
		SM	9.13 ^a	0.87 ^a	78.11 ^a	10.36 ^a	206.83 ^a
		ST	8.42 ^b	0.81 ^b	73.02 ^b	10.63 ^b	193.97 ^b
		NM	7.94 ^c	0.76 ^c	64.61 ^c	8.84 ^c	165.99 ^c
		SM	9.38 ^a	0.87 ^a	74.80 ^a	10.84 ^a	188.50 ^a
		PT	8.13 ^b	0.78 ^b	68.81 ^b	9.31 ^b	178.03 ^b
		NM	7.03 ^c	0.72 ^c	61.72 ^c	8.79 ^c	162.42 ^c
		耕作	8.2 [*]	11.0 [*]	52.2 ^{**}	8.0 [*]	74.3 ^{**}
		覆盖	142.2 ^{**}	93.9 ^{**}	264.1 ^{**}	46.1 ^{**}	150.3 ^{**}
	F	耕作×覆盖	14.8 ^{**}	17.5 ^{**}	6.9 ^{**}	11.4 ^{**}	7.5 ^{**}

2.4 秋耕覆盖对马铃薯生长的影响

由表 4 可知,各处理马铃薯关键生育期株高、茎粗的变化均先增加后降低,而马铃薯生物量逐渐增加,覆盖措施对植株株高、茎粗和生物量均有极显著影响。马铃薯现蕾期,2014 年和 2015 年耕作方式对马铃薯植株株高、茎粗和生物量影响显著,覆盖措施对马铃薯生长影响极显著,而耕作与覆盖交互作用对马铃薯生长影响不显著。2016 年耕作方式、覆盖措施对马铃薯生长指标影响极显著,耕作与覆盖

交互作用对马铃薯生长的影响显著。在所有处理组合中,PT×NM 处理下马铃薯株高、茎粗和生物量最低,而 ST×FM 处理对作物生长的促进作用最佳。在块茎形成期和膨大期,秋耕覆盖措施对作物植株生长的影响与该生育阶段的降雨量有关。2014 年,耕作方式、耕作与覆盖交互作用对马铃薯株高、茎粗的影响均不显著,而覆盖措施对马铃薯生长的影响极显著。2015 年和 2016 年,耕作方式、覆盖措施及其二者交互作用对马铃薯株高、茎粗均存在极显著

影响。而 3 年耕作方式、覆盖措施及其交互作用对马铃薯生物量影响均极显著。同一耕作方式下马铃薯株高、茎粗和生物量均表现为 SM 和 FM 相近且大于 NM,而同一覆盖措施下马铃薯生长指标均表现为 ST 和 NT 相近且大于 PT。在 2014 年所有处理组合中,NT×SM 处理下马铃薯株高、茎粗和生物量均

最高,而 PT×NM 处理最低。而在 2015 和 2016 年,ST×SM 处理下马铃薯株高、茎粗和生物量均最高,而 PT×NM 处理最低。这表明,免耕、深松结合秸秆覆盖措施(NT×SM 和 ST×SM)能改善马铃薯生长前期土壤水热环境,有效促进马铃薯生育中后期的生长,显著提高马铃薯的地上部生物量。

表 4 秋耕覆盖对马铃薯生长指标的影响
Tab.4 Effects of autumn tillage with mulching on growth indexes of potato

年份	耕作方式	覆盖措施	株高/cm			茎粗/mm			生物量/(g·株 ⁻¹)		
			现蕾期	块茎形成期	块茎膨大期	现蕾期	块茎形成期	块茎膨大期	现蕾期	块茎形成期	块茎膨大期
2014	NT	SM	37.1 ^a	54.0 ^a	49.8 ^a	10.31 ^b	23.74 ^a	11.04 ^a	36.5 ^b	88.1 ^a	165.5 ^a
		FM	39.3 ^a	52.6 ^a	47.9 ^b	11.49 ^a	24.73 ^a	10.04 ^b	42.2 ^a	83.1 ^b	151.6 ^b
		NM	32.5 ^b	47.0 ^b	45.8 ^c	10.20 ^b	21.47 ^b	9.96 ^b	20.1 ^c	70.0 ^c	130.2 ^c
	ST	SM	37.8 ^a	52.7 ^a	48.0 ^a	10.82 ^a	23.32 ^a	10.95 ^a	35.6 ^b	85.8 ^a	160.0 ^a
		FM	39.3 ^a	51.0 ^a	46.1 ^b	11.23 ^a	23.96 ^a	10.45 ^{ab}	41.5 ^a	80.1 ^b	147.0 ^b
		NM	31.0 ^b	48.7 ^b	43.0 ^c	10.31 ^b	20.89 ^b	9.93 ^b	25.5 ^c	76.0 ^c	126.7 ^c
	PT	SM	36.2 ^a	49.4 ^a	49.0 ^a	11.72 ^a	22.99 ^{ab}	10.84 ^a	30.0 ^a	77.5 ^a	153.7 ^a
		FM	37.0 ^a	48.4 ^{ab}	47.3 ^b	10.71 ^b	23.66 ^a	10.31 ^{ab}	33.9 ^a	69.9 ^b	140.0 ^b
		NM	31.3 ^b	46.2 ^b	43.2 ^c	9.36 ^c	21.00 ^b	9.39 ^b	20.0 ^b	56.8 ^c	105.9 ^c
	F	耕作	12.3 [*]	6.0	4.3	7.3 [*]	4.3	6.4	7.6 [*]	30.7 ^{**}	137.5 ^{**}
		覆盖	38.3 ^{**}	33.7 ^{**}	66.6 ^{**}	29.1 ^{**}	10.4 ^{**}	8.7 ^{**}	48.3 ^{**}	295.5 ^{**}	481.6 ^{**}
		耕作×覆盖	0.6	2.5	0.3	3.1	0.1	0.4	1.1	15.0 ^{**}	8.3 ^{**}
2015	NT	SM	53.6 ^a	70.2 ^a	62.3 ^a	12.84 ^a	15.43 ^a	11.09 ^a	16.6 ^a	54.1 ^a	110.9 ^a
		FM	57.7 ^a	71.5 ^a	64.7 ^a	13.57 ^a	15.61 ^a	10.92 ^a	18.1 ^a	55.4 ^a	112.3 ^a
		NM	45.2 ^b	57.4 ^b	53.0 ^b	11.05 ^b	13.29 ^b	9.97 ^b	9.8 ^b	43.5 ^b	90.4 ^b
	ST	SM	52.0 ^{ab}	77.3 ^a	66.3 ^a	11.86 ^{ab}	16.51 ^a	11.74 ^a	16.7 ^b	67.3 ^a	130.2 ^a
		FM	55.1 ^a	71.6 ^b	62.7 ^b	12.29 ^a	15.88 ^b	11.05 ^b	20.8 ^a	59.8 ^b	115.9 ^b
		NM	47.4 ^b	62.3 ^c	55.3 ^c	11.27 ^b	13.54 ^c	10.19 ^c	12.3 ^c	46.4 ^c	95.5 ^c
	PT	SM	48.7 ^a	68.8 ^a	51.7 ^b	11.19 ^a	15.30 ^a	10.17 ^b	15.6 ^a	49.2 ^a	107.7 ^a
		FM	50.2 ^a	69.4 ^a	58.3 ^a	11.84 ^a	15.58 ^a	10.61 ^a	17.5 ^a	50.8 ^a	109.7 ^a
		NM	41.7 ^b	52.6 ^b	50.0 ^b	10.10 ^b	12.84 ^b	9.77 ^c	8.3 ^b	40.8 ^b	84.6 ^b
	F	耕作	7.3 [*]	40.2 ^{**}	38.8 ^{**}	16.4 [*]	17.6 ^{**}	33.3 ^{**}	16.9 [*]	40.5 ^{**}	29.5 ^{**}
		覆盖	14.4 ^{**}	378.0 ^{**}	58.5 ^{**}	17.4 ^{**}	757.7 ^{**}	62.3 ^{**}	85.4 ^{**}	392.0 ^{**}	250.3 ^{**}
		耕作×覆盖	1.1	10.3 ^{**}	7.8 ^{**}	2.3	8.1 ^{**}	7.4 ^{**}	1.1	30.5 ^{**}	10.3 ^{**}
2016	NT	SM	51.5 ^a	82.8 ^a	62.4 ^a	10.84 ^a	12.82 ^a	11.19 ^a	26.2 ^a	68.1 ^a	115.2 ^a
		FM	54.0 ^a	84.5 ^a	65.2 ^a	11.09 ^a	13.07 ^a	11.42 ^a	26.9 ^a	66.2 ^a	112.6 ^a
		NM	41.7 ^b	60.0 ^b	50.0 ^b	9.57 ^b	10.29 ^b	9.86 ^b	16.0 ^b	48.2 ^b	80.4 ^b
	ST	SM	58.2 ^a	88.5 ^a	68.5 ^b	12.23 ^a	15.36 ^a	13.65 ^a	32.3 ^a	76.5 ^a	120.0 ^a
		FM	54.3 ^b	79.0 ^b	76.5 ^a	11.58 ^b	14.37 ^b	12.24 ^b	27.0 ^b	70.1 ^b	108.7 ^b
		NM	42.7 ^c	63.5 ^c	58.5 ^c	9.72 ^c	10.34 ^c	9.78 ^c	18.6 ^c	50.2 ^c	87.8 ^c
	PT	SM	46.1 ^a	74.5 ^a	62.5 ^a	10.15 ^a	11.69 ^a	10.29 ^a	20.8 ^a	62.3 ^a	99.8 ^a
		FM	48.6 ^a	76.0 ^a	60.0 ^a	10.54 ^a	11.86 ^a	10.62 ^a	22.4 ^a	65.2 ^a	101.8 ^a
		NM	32.7 ^b	55.0 ^b	45.3 ^b	9.02 ^b	10.11 ^b	9.24 ^b	13.7 ^b	45.9 ^b	79.0 ^b
	F	耕作	271.3 ^{**}	51.0 ^{**}	57.4 ^{**}	36.7 ^{**}	78.4 ^{**}	287.8 ^{**}	386.4 ^{**}	40.5 ^{**}	28.3 ^{**}
		覆盖	135.1 ^{**}	810.1 ^{**}	189.0 ^{**}	56.7 ^{**}	211.0 ^{**}	164.0 ^{**}	79.7 ^{**}	313.8 ^{**}	209.7 ^{**}
		耕作×覆盖	3.6 [*]	20.3 ^{**}	8.1 ^{**}	3.3 [*]	19.9 ^{**}	26.4 ^{**}	3.7 [*]	6.2 ^{**}	6.4 ^{**}

2.5 秋耕覆盖对马铃薯产量性状的影响及经济效益分析

作物产量不仅与耕作方式和覆盖措施有关,还与年降水量及其分布有关。3 年研究期间,秋耕覆

盖措施对马铃薯总产量影响有显著差异,各处理马铃薯产量 2014 年最高,2015 年次之,2016 年最低(表 5)。在所有处理组合中,ST×SM、NT×SM 处理 3 年平均马铃薯产量较 PT×NM 处理显著提高

49.4%和38.3%。2014年,同一耕作方式下覆盖措施对马铃薯总产量无显著影响,但覆盖措施、耕作与覆盖的交互作用对马铃薯总产量影响极显著。在所有处理组合中,NT×SM处理马铃薯总产量最高,较PT×NM处理显著提高51.8%。2015年和2016年,耕作方式、覆盖措施及其二者交互作用对马铃薯

总产量有极显著影响。同一耕作方式下FM和SM处理马铃薯平均总产量最高,而NM处理最低。3种耕作方式中,ST处理马铃薯平均总产量最高,其次是NT和PT处理。在所有处理组合中,ST×SM处理的马铃薯平均总产量最高,较PT×NM处理显著提高56.2%。

表 5 秋耕覆盖下马铃薯产量性状与经济效益

Tab.5 Yield characters and economic benefit of potato under autumn tillage with mulching									
年份	耕作方式	覆盖措施	总产量/ (t·hm ⁻²)	产量/(t·hm ⁻²)			商品薯率/ %	产出/ (万元·hm ⁻²)	纯收益/ (万元·hm ⁻²)
				大薯	中薯	小薯			
2014	NT	SM	40.78 ^a	28.80 ^a	7.66 ^a	4.32 ^a	89.41 ^b	2.855 ^a	1.964 ^a
		FM	29.75 ^b	20.50 ^b	6.60 ^b	2.65 ^c	91.09 ^a	2.083 ^b	1.162 ^b
		NM	25.70 ^c	17.61 ^c	4.41 ^c	3.68 ^b	85.69 ^c	1.799 ^c	0.983 ^c
	ST	SM	38.52 ^a	31.26 ^a	4.72 ^c	2.54 ^b	93.42 ^a	2.696 ^a	1.730 ^a
		FM	32.28 ^b	22.81 ^b	5.95 ^b	3.52 ^a	89.10 ^c	2.260 ^b	1.264 ^b
		NM	26.90 ^c	17.53 ^c	6.85 ^a	2.52 ^b	90.63 ^b	1.883 ^c	0.992 ^c
	PT	SM	36.68 ^a	26.87 ^a	6.30 ^a	3.51 ^b	90.44 ^b	2.568 ^a	1.602 ^a
		FM	29.33 ^b	23.35 ^b	3.70 ^c	2.28 ^c	92.22 ^a	2.053 ^b	1.057 ^b
		NM	26.86 ^c	17.67 ^c	4.56 ^b	4.63 ^a	82.76 ^c	1.880 ^c	0.989 ^b
	F	耕作	4.8	5.9	52.1 ^{**}	91.9 ^{**}	33.2 ^{**}	6.2	7.6 [*]
		覆盖	266.9 ^{**}	756.0 ^{**}	31.9 ^{**}	23.7 ^{**}	95.4 ^{**}	201.6 ^{**}	538.9 ^{**}
		耕作×覆盖	6.0 ^{**}	19.6 ^{**}	98.0 ^{**}	42.0 ^{**}	37.5 ^{**}	4.5 ^{**}	13.7 ^{**}
2015	NT	SM	15.46 ^a	3.23 ^b	8.64 ^a	3.59 ^b	76.79 ^b	1.314 ^a	0.423 ^a
		FM	15.69 ^a	3.84 ^a	8.68 ^a	3.17 ^c	79.77 ^a	1.334 ^a	0.413 ^a
		NM	13.55 ^b	2.42 ^c	7.09 ^b	4.04 ^a	70.17 ^c	1.152 ^b	0.336 ^b
	ST	SM	20.08 ^a	6.36 ^a	10.50 ^a	3.23 ^b	83.91 ^a	1.707 ^a	0.741 ^a
		FM	17.75 ^b	5.21 ^b	10.02 ^a	2.51 ^c	85.82 ^a	1.509 ^b	0.513 ^b
		NM	15.77 ^c	3.10 ^c	7.95 ^b	4.73 ^a	70.02 ^b	1.340 ^c	0.449 ^c
	PT	SM	16.28 ^b	5.53 ^a	7.60 ^a	3.16 ^b	80.61 ^a	1.384 ^b	0.418 ^a
		FM	16.98 ^a	5.43 ^a	7.33 ^a	4.21 ^a	75.21 ^b	1.443 ^a	0.447 ^a
		NM	14.69 ^c	4.36 ^b	6.40 ^b	3.93 ^a	73.23 ^c	1.249 ^c	0.358 ^b
	F	耕作	33.2 ^{**}	137.8 ^{**}	227.1 ^{**}	2.5	19.3 ^{**}	274.8 ^{**}	44.4 ^{**}
		覆盖	115.3 ^{**}	320.4 ^{**}	69.3 ^{**}	57.1 ^{**}	122.6 ^{**}	174.5 ^{**}	117.2 ^{**}
		耕作×覆盖	16.8 ^{**}	55.2 ^{**}	3.7 [*]	30.8 ^{**}	20.4 ^{**}	24.7 ^{**}	43.1 ^{**}
2016	NT	SM	13.90 ^b	6.79 ^a	5.02 ^b	2.09 ^b	84.98 ^a	1.668 ^b	0.777 ^b
		FM	15.72 ^a	7.03 ^a	5.30 ^a	3.39 ^a	78.42 ^b	1.886 ^a	0.965 ^a
		NM	9.33 ^c	3.36 ^b	3.57 ^c	2.40 ^b	74.28 ^c	1.120 ^c	0.304 ^c
	ST	SM	17.19 ^a	8.48 ^a	5.64 ^a	3.07 ^a	82.13 ^b	2.063 ^a	1.097 ^a
		FM	15.41 ^b	8.60 ^a	5.20 ^b	1.61 ^b	89.53 ^a	1.849 ^b	0.853 ^b
		NM	11.52 ^c	4.30 ^b	4.37 ^c	2.85 ^a	75.28 ^c	1.382 ^c	0.491 ^c
	PT	SM	10.97 ^a	4.49 ^b	3.60 ^b	2.88 ^a	73.78 ^a	1.316 ^b	0.350 ^a
		FM	12.24 ^a	5.52 ^a	3.91 ^a	2.80 ^a	77.10 ^a	1.469 ^a	0.473 ^a
		NM	9.17 ^b	2.96 ^c	3.22 ^c	2.99 ^a	67.35 ^b	1.100 ^c	0.209 ^b
	F	耕作	41.1 ^{**}	69.9 ^{**}	97.1 ^{**}	169.9 ^{**}	30.9 ^{**}	82.6 ^{**}	275.9 ^{**}
		覆盖	56.7 ^{**}	151.6 ^{**}	104.7 ^{**}	0.7	52.7 ^{**}	230.8 ^{**}	70.7 ^{**}
		耕作×覆盖	5.6 ^{**}	6.7 ^{**}	12.9 ^{**}	23.1 ^{**}	9.5 ^{**}	22.9 ^{**}	10.4 ^{**}

耕作方式、覆盖措施及其二者交互作用均可改善马铃薯大薯、中薯和小薯产量,从而显著提高其商品薯率(表5)。2014年,耕作方式对马铃薯大薯产量无显著影响,而覆盖措施、耕作与覆盖交互作用影

响极显著。耕作方式、覆盖措施及其交互作用对马铃薯中薯和小薯产量的影响均呈极显著水平。2015年,耕作方式对马铃薯小薯产量无显著影响,而覆盖措施、耕作与覆盖交互作用影响极显著。2016年,

覆盖措施对马铃薯小薯产量无显著影响,而耕作方式、耕作与覆盖交互作用影响极显著。2015 年和 2016 年,耕作方式、覆盖措施及其二者交互作用对马铃薯大薯和中薯产量影响极显著。同一耕作方式下大薯、中薯产量由高到低均表现为 SM、FM、NM,而小薯产量表现为 NM、FM、SM;同一覆盖措施下马铃薯大薯产量由高到低表现为 ST、PT、NT,而中薯产量表现为 ST、NT、PT,小薯产量表现为 PT、NT、ST。在所有处理组合中,大薯平均产量以 ST $\times$ SM 处理最高,中薯平均产量以 NT $\times$ SM 处理最高,小薯平均产量以 PT $\times$ NM 处理最高。ST $\times$ SM 处理大薯平均产量较 PT $\times$ NM 处理显著增加 84.5%,NT $\times$ SM 处理中薯平均产量较 PT $\times$ NM 处理显著增加 50.4%。3 年试验期间,耕作方式、覆盖措施及其交互作用对马铃薯商品薯率影响均极显著。2014 年 ST $\times$ SM 处理的商品薯率最高,而 2015 年和 2016 年 ST $\times$ FM 处理平均商品薯率最高,其次为 ST $\times$ SM 处理。可见,ST $\times$ FM、ST $\times$ SM 处理对提高马铃薯商品薯率效果较优,分别较 PT $\times$ NM 处理显著提高 18.4% 和 16.2%。

由表 5 可知,因不同耕作覆盖措施下投入成本存在差异,投入包括种子费、肥料费、人工费及机械耕作费及覆盖材料费(其中 3 年平均马铃薯种子费为 5 760 元/hm²;肥料费为 1 200 元/hm²;人工费为 1 200 元/hm²;机械耕作费为 750 元/hm²;地膜为 1 050 元/hm²,秸秆为 750 元/hm²;3 年马铃薯价格分别为 0.70、0.85、1.2 元/kg)。各处理总投入由高到低依次为 ST $\times$ FM 处理(等于 ST $\times$ FM 处理,9 960 元/hm²)、ST $\times$ SM 处理(等于 PT $\times$ SM 处理,9 660 元/hm²)、NT $\times$ FM 处理(9 210 元/hm²)、NT $\times$ SM 处理(等于 ST $\times$ SM 处理和 PT $\times$ NM 处理,8 910 元/hm²)、NT $\times$ NM 处理(8 160 元/hm²)。2014 年耕作方式对马铃薯纯收益有显著影响,而覆盖措施、耕作与覆盖交互作用对马铃薯纯收益影响极显著。2015 年和 2016 年耕作方式、覆盖措施及其二者交互作用对马铃薯纯收益均有极显著影响。在所有处理组合中,2014 年 NT $\times$ SM 处理的净收入最高,ST $\times$ SM 处理次之,而 NT $\times$ NM 处理最低;2015 年和 2016 年,ST $\times$ SM 处理平均纯收益最高,而 NT $\times$ NM 处理最低。综合 3 年经济效益分析发现,ST $\times$ SM、NT $\times$ SM 处理平均纯收益较 NT $\times$ NM 处理分别显著提高 129.1% 和 103.3%。

3 讨论

3.1 秋耕覆盖对马铃薯生育期土壤水分的影响

宁南旱作区秋作物收获后土壤墒情较好,其次

年作物生育期土壤蓄水保墒效果与其耕作方式和覆盖措施有密切关系^[12]。刘爽等^[13]认为,休闲期免耕覆盖和深松覆盖可增加土壤的蓄水和保水能力,使旱地小麦播前底墒显著提高。WANG 等^[14]研究报告,休闲期免耕/深松轮耕结合覆盖措施比传统耕作不覆盖可维持春玉米播种期 0~200 cm 层较高的土壤贮水量。本研究结果表明,3 年马铃薯播种期,耕作方式、覆盖措施及其交互作用对提高马铃薯播种期土壤蓄水保墒能力效果显著,以深松秸秆覆盖处理最高,而翻耕不覆盖处理土壤贮水量最低,分析其原因:耕作覆盖措施对作物播种期土壤水分的影响主要依赖于休闲期降雨量和耕作措施^[12],保护性耕作在作物播种前未进行耕作因而减少对土壤的扰动^[15],同时秋季深松耕结合秸秆覆盖措施可增加休闲期降水入渗,在春季干旱多风天气下有效降低土壤蒸发^[16],而传统耕作频繁扰动土壤,使土壤水分蒸发强烈^[17]。陈梦楠等^[18]研究发现,休闲期深翻后覆盖对小麦田 0~300 cm 层土壤蓄水量的影响从播种至开花期均达显著水平,且欠水年更有利于蓄水保墒。付国占等^[19]研究认为,同一耕作方式下残茬覆盖处理在玉米各个时期耕层土壤含水率均高于不覆盖处理,生长前期差异较小,中期差异最大,后期差异减小。同一覆盖条件下耕作方式间耕层土壤含水率差异较小,均以深松覆盖处理最高。本研究结果表明,秋耕覆盖措施可显著改善马铃薯关键生育期 0~200 cm 层土壤贮水量。耕作方式对土壤贮水量影响显著,覆盖措施、耕作与覆盖交互作用影响极显著,尤其以深松秸秆覆盖处理改善效果最佳,这是因为休闲期深松可打破犁底层,能够增加土壤水分入渗,同时秸秆覆盖可减少土壤水分蒸发损失,提高深层土壤贮水量,从而促进作物中后期对深层水分的利用^[20]。本研究还发现,耕作方式对马铃薯收获期土壤水分状况影响较小,而覆盖措施、耕作与覆盖交互作用影响显著,这与 YANG 等^[10]研究结果相似,其主要原因是耕作措施储存的土壤水分在作物生育中后期一定程度上被作物消耗^[21],而休闲期覆盖能显著增加休闲期降水的蓄积,从而维持生育中后期较高的土壤水分^[22]。

3.2 秋耕覆盖对马铃薯生育期土壤温度的影响

杨雪等^[23]研究结果表明,耕作方式对耕层土壤温度无显著影响,而深旋松耕结合地膜覆盖在春玉米生长前期低温时有较好的保温效应,0~25 cm 层土壤温度显著高于所有耕作不覆盖处理。赵天武等^[24]研究发现,与传统耕作相比,免耕秸秆覆盖可降低结薯期 0~25 cm 层土壤温度,降低高温对马铃薯块茎生长的不利影响。本研究结果表明,在马铃薯

薯播种期,耕作方式、覆盖措施及其交互作用对 0 ~ 25 cm 耕层土壤温度影响显著,但随生育期的推进其影响程度减小。不同耕作方式中,深松处理在马铃薯生长前期具有明显的增温效应,后期表现出一定的降温效应,翻耕处理耕层土壤温度前期较低、后期较高,而免耕处理介于二者之间;不同覆盖措施中地膜覆盖的保温效应对马铃薯生育前期生长有促进作用,但后期高温不利于块茎的形成;然而秸秆覆盖在作物整个生育期具有稳温和降温效应。在所有处理组合中,深松地膜覆盖处理平均耕层土壤温度最高,而免耕秸秆覆盖处理最低。这与 HOU 等^[12]、赵天武等^[24]研究结论“与传统耕作相比,免耕秸秆覆盖可降低马铃薯关键生育期 0 ~ 25 cm 各土层土壤温度,降低高温对马铃薯生长的不利影响”一致,究其原因:①免耕条件下作物生长较弱,秸秆覆盖能阻挡太阳直射,且秸秆表面又吸收大量的热能^[11]。②免耕秸秆覆盖可改善耕层土壤热量条件,在增温阶段土壤温度增幅较小,在降温阶段降幅较大,从而实现稳温和降温效应^[25]。

3.3 秋耕覆盖对土壤养分的影响

不同农田耕作覆盖措施可通过调节土壤理化性状和结构,影响土壤水分含量以及土壤的热量状况,进而影响土壤有机质的分解和转化与养分含量^[7]。晋凡生等^[26]报道,免耕覆盖使土壤有机质、全氮、速效磷等土壤养分均有不同幅度增加,大大改善土壤的生态环境。李友军等^[27]研究表明,深松覆盖秸秆能使土壤有机质和氮、磷、钾含量明显高于传统耕作,特别是对上层土壤全氮及碱解氮和深层土壤的有效磷及速效钾的影响更为明显。高茂盛等^[28]研究发现,耕作与秸秆覆盖相结合可显著提高 0 ~ 40 cm 层有机质含量,使土壤速效养分含量明显增加,各处理以翻耕秸秆覆盖及免耕秸秆覆盖土壤养分含量最高。本研究结果表明,经过 3 年耕作覆盖处理后,土壤肥力状况得到明显改善。耕作方式对土壤有机质、全氮、有效磷含量影响显著,对土壤碱解氮和速效钾含量影响极显著,而覆盖措施、耕作与覆盖交互作用对土壤有机质、全氮及速效养分各指标影响均极显著。这表明耕作与覆盖交互作用可使土壤肥力状况得到显著改善,其中以免耕覆盖秸秆处理效果最佳,深松覆盖秸秆处理次之,而翻耕不覆盖处理效果最差。分析其可能原因主要有 3 方面:①免耕因减少土壤扰动,使深层土壤接触空气的机会减少,土壤有机质的氧化和矿化减弱,土壤水分蒸发也减少,而覆盖于地表的秸秆等有机物料的降解也使土壤养分含量增加^[29]。②深松能够改善土壤的通透性,促进土壤中有机物的腐殖化过程,使土壤

有机质含量提高,而秸秆中含有大量有机物质,覆盖后可显著增加土壤有机质含量,提高土壤养分含量^[3]。③翻耕频繁扰动土壤加速了土壤有机质的分解,而地表土壤非但无秸秆的输入,有机质的持续矿化及淋失降低了土壤有机质含量及养分水平^[30]。

3.4 秋耕覆盖对马铃薯生长及产量的影响

在马铃薯关键生长期,适宜的土壤水热条件更有利于马铃薯生长发育,最终影响产量的形成^[31]。已有研究证明,免耕秸秆覆盖可显著改善土壤水分条件,但由于地表大量秸秆覆盖,导致早春地温较低使作物前期生长缓慢,低温导致减产^[32];在高温季节,单一的地膜覆盖往往造成作物根区极端高温,导致作物发生早衰现象,从而影响产量^[33]。赵天武等^[24]研究表明,免耕覆盖能明显改善 0 ~ 80 cm 层土壤贮水量,降低马铃薯结薯层土壤温度,从而有利于块茎的生长。李荣等^[16]研究发现,深松结合不同地表覆盖方式对马铃薯生长有显著促进作用。作物生育前期以深松地膜覆盖处理效果最佳,中后期以深松秸秆覆盖处理促进作用明显。本研究结果表明,耕作方式对马铃薯生长的影响程度较小,而覆盖措施、耕作与覆盖交互作用对马铃薯生长影响极显著。免耕秸秆覆盖、深松秸秆覆盖措施均能改善马铃薯生长前期土壤水热环境,有效促进生育中后期的生长。这是因为深松耕在作物生长前期具有明显的增温效应,后期表现出一定的降温效应,而翻耕处理土壤温度在作物生长前期较低后期较高,这不利于马铃薯生长发育^[21],同时秸秆覆盖措施下马铃薯生长关键期根际土壤水热条件较好,实现了水热环境对马铃薯生长的协同作用,这有利于中后期生长和块茎的形成^[31,34]。

PERVAIZ 等^[35]认为,耕作方式对玉米产量无显著影响,而覆盖措施、耕作与覆盖交互作用对玉米产量影响显著。GUPTA 等^[36]发现,耕作方式、耕作与覆盖交互作用对前 2 年小麦产量影响显著,但第 3 年免耕秸秆覆盖下小麦产量均低于传统耕作。黄明等^[37]研究表明,免耕覆盖能改善小麦产量构成因素(有效穗数和千粒质量),从而提高小麦产量。郭书亚等^[38]认为,深松覆盖可通过改善玉米穗行数、行粒数、千粒质量来提高玉米籽粒产量。在本研究中,耕作方式、覆盖措施及其二者交互作用均可改善马铃薯产量构成,从而极显著提高马铃薯总产量和商品薯率,尤其以深松秸秆覆盖处理最为显著。究其原因:秋季深松能积蓄更多秋雨实现秋雨春雨^[16,39],同时秸秆覆盖下较好的水分条件在一定程度上弥补低温对马铃薯生育前期生长的影响,且能

降低中后期高温胁迫对块茎生长的不利,从而显著提高马铃薯产量和商品薯率^[11,24]。然而,旱作马铃薯产量受降雨年型的影响波动较大,在极端年型也存在减产现象,鉴于本研究期间仅为平水年和欠水年,而丰水年秋耕覆盖对马铃薯生长及产量影响还有待进一步深入研究。保护性耕作措施(免耕、深松及少耕结合覆盖)在提高资源利用率和粮食增产增收方面均具有明显优势^[2,40]。王育红等^[41]研究表明,在豫西旱地实施保护性耕作措施具有明显的节本增效效果,深松覆盖和免耕覆盖分别节本 412 元/hm²和 562 元/hm²,净增效益 888 元/hm²和 763 元/hm²。本研究发现,免耕或深松结合秸秆覆盖措施下马铃薯纯收益最高,免耕、深松结合地膜覆盖次之,但从马铃薯增产增效和环境保护角度考虑,免耕、深松结合秸秆覆盖措施能在宁南旱作区马铃薯生产中具有一定的推广应用价值,这是因为保护性耕作结合秸秆覆盖在实现增产增效的同时也有利于农业的可持续发展,但保护性耕作结合地膜覆盖措施在实现增产增效的同时,其废旧残膜易造成环境污染,这严重限制马铃薯的可持续生产。

4 结束语

秋耕覆盖措施可显著改善马铃薯生育期土壤水、热和养分状况,优化耕层水、热和养分环境对马铃薯生长的协同作用,从而有利于块茎产量的提高,其中以免耕、深松结合秸秆覆盖处理最为显著。耕作方式、覆盖措施及其二者交互作用均能显著影响马铃薯生育前期、中期的土壤温度环境,而对后期影响较小。经过 3 年秋耕覆盖后,耕作与覆盖交互作用可使土壤养分状况明显改善,其中以免耕、深松结合秸秆覆盖处理效果最佳,而翻耕不覆盖处理效果最差。3 种耕作方式下,秸秆覆盖较地膜覆盖处理在改善马铃薯关键生育期土壤水热环境、促进中后期马铃薯生殖生长和提高马铃薯产量方面效果更为显著。在所有耕作覆盖处理组合中,免耕秸秆覆盖和深松秸秆覆盖处理下马铃薯总产量和净收益最高,深松秸秆覆盖和深松地膜覆盖处理对提高商品薯率效果较好。因此,综合考虑经济、环境效益等因素,秋季免耕秸秆覆盖或深松秸秆覆盖措施在调控土壤水、热和养分环境,提高马铃薯总产量等方面具有显著优势,在宁南半干旱区有推广应用前景。

参 考 文 献

- [1] 李荣,王艳丽,吴鹏年,等. 宁南旱区沟垄覆盖改善土壤水热状况提高马铃薯产量[J]. 农业工程学报, 2017, 33(10): 168–175.
LI Rong, WANG Yanli, WU Pengnian, et al. Ridge and furrow mulching improving soil water-temperature condition and increasing potato yield in dry-farming areas of South Ningxia[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(10): 168–175. (in Chinese)
- [2] LI Z, ZHANG Q, YANG Q, et al. Yield, water productivity and economic return of dryland wheat in the Loess Plateau in response to conservation tillage practices[J]. The Journal of Agricultural Science, 2017, 155(8): 1272–1286.
- [3] 张冬梅,张伟,姜春霞,等. 旱地玉米不同耕作覆盖措施的土壤环境及产量效应[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(6): 26–37.
ZHANG Dongmei, ZHANG Wei, JIANG Chunxia, et al. Effects of different tillage and mulch treatments on the soil environment and yield of dryland maize[J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(6): 26–37. (in Chinese)
- [4] 何明,高焕文,董培岩,等. 一年两熟地区保护性耕作深松试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(7): 58–63.
HE Ming, GAO Huanwen, DONG Peiyan, et al. Sub-soiling experiment on double cropping and conservation tillage adopted area[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(7): 58–63. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180707&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.07.007. (in Chinese)
- [5] ZHANG Y J, WANG S L, WANG H, et al. The effects of rotating conservation tillage with conventional tillage on soil properties and grain yields in winter wheat-spring maize rotations[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2018, 263(1): 107–117.
- [6] 黄金辉,廖允成,高茂盛,等. 耕作和覆盖对黄土高原果园土壤水分和温度的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(11): 2652–2658.
HUANG Jinhui, LIAO Yuncheng, GAO Maosheng, et al. Effects of tillage and mulching on orchard soil moisture content and temperature in Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(11): 2652–2658. (in Chinese)
- [7] 张冬梅. 覆盖耕作措施对土壤环境和玉米生长的影响[D]. 太原: 山西大学, 2007.
ZHANG Dongmei. Effects of mulch tillage treatments on soil environment and maize growth[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2007. (in Chinese)
- [8] 汪可欣,付强,张中昊,等. 秸秆覆盖与表土耕作对东北黑土根区土壤环境的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 131–137.
WANG Kexin, FU Qiang, ZHANG Zhonghao, et al. Effects of straw mulching mode and tillage methods on soil environment of root zone in northeast black soil[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 131–137. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160319&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.019. (in Chinese)
- [9] 武淑娜,杨树青,李文娟,等. 覆盖耕作对岭南旱作大豆土壤水热及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2019(8): 48–53.
WU Shuna, YANG Shuqing, LI Wenjuan, et al. Effects of coverage cultivation on soil water heat and yield of dryland soybean in southern foot of Daxing'an mountains[J]. Water Saving Irrigation, 2019(8): 48–53. (in Chinese)
- [10] YANG Y H, DING J L, ZHANG Y H, et al. Effects of tillage and mulching measures on soil moisture and temperature,

- photosynthetic characteristics and yield of winter wheat[J]. Agriculture Water Management, 2018, 201(1): 299–308.
- [11] 汤瑛芳, 高世铭, 王亚红, 等. 旱地马铃薯不同覆盖种植方式的土壤水热效应及其对产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 1–7, 13.
TANG Yingfang, GAO Shiming, WANG Yahong, et al. Soil water and thermal effects of different mulching and planting methods and their influences on yield in dryland potato production[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(1): 1–7, 13. (in Chinese)
- [12] HOU X Q, LI R. Potato tuber yields in semi-arid environments are increased by tillage and mulching practices[J]. Agronomy Journal, 2018, 110(6): 2641–2651.
- [13] 刘爽, 武雪萍, 吴会军, 等. 休闲期不同耕作方式对洛阳冬小麦农田土壤水分的影响[J]. 中国农业气象, 2007, 28(3): 292–295.
LIU Shuang, WU Xueping, WU Huijun, et al. Influence of different tillage practices during summer fallow on soil moisture in winter wheat field in Luoyang[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2007, 28(3): 292–295. (in Chinese)
- [14] WANG S L, HAO W, ZHANG Y H, et al. The influence of rotational tillage on soil water storage, water use efficiency and maize yield in semi-arid areas under varied rainfall conditions[J]. Agriculture Water Management, 2018, 203(4): 376–384.
- [15] 宋振伟, 邓艾兴, 郭金瑞, 等. 整地时期对东北雨养区土壤含水量及玉米产量的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(5): 254–258, 263.
SONG Zhenwei, DENG Aixing, GYO Jinrui, et al. Impacts of soil preparation period on soil water storage and corn (*Zea mays* L.) yield in rain-fed area of Northeast China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(5): 254–258, 263. (in Chinese)
- [16] 李荣, 侯贤清. 深松条件下不同地表覆盖对马铃薯产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 115–123.
LI Rong, HOU Xianqing. Effects of different ground surface mulch under subsoiling on potato yield and water use efficiency[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(20): 115–123. (in Chinese)
- [17] PREEZ C C D, STEYN J T, KOTZE E. Long-term effects of wheat residue management on some fertility indicators of a semi-arid Plinthoso[J]. Soil and Tillage Research, 2001, 63(1/2): 25–33.
- [18] 陈梦楠, 孙敏, 高志强, 等. 旱地麦田休闲期覆盖对土壤水分积耗的影响及与产量的关系[J]. 中国农业科学, 2016, 49(13): 2572–2582.
CHEN Mengnan, SUN Min, GAO Zhiqiang, et al. Effects of mulching during fallow period on soil water storage and consumption and its relationship with wheat yield of dryland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(13): 2572–2582. (in Chinese)
- [19] 付国占, 李潮海, 王俊忠, 等. 残茬覆盖与耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 52–56.
FU Guozhan, LI Chaohai, WANG Junzhong, et al. Effects of stubble mulch and tillage managements on soil physical properties and water use efficiency of summer maize[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1): 52–56. (in Chinese)
- [20] 杨清山, 孙敏, 高志强, 等. 黄土高原休闲期深松后覆盖播种对旱地小麦产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(2): 158–166.
YANG Qingshan, SUN Min, GAO Zhiqiang, et al. Effect of sowing-mulching following subsoiling in fallow period on wheat yield in arid area on the Loess Plateau[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(2): 158–166. (in Chinese)
- [21] 谢军红, 张仁陟, 李玲玲, 等. 耕作方法对黄土高原旱作玉米产量和土壤水温特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(11): 1384–1393.
XIE Junhong, ZHANG Renzhi, LI Lingling. Effect of different tillage practice on rain-fed maize yield and soil water/temperature characteristics in the Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(11): 1384–1393. (in Chinese)
- [22] CHEN Y L, LIU T, TIAN X H, et al. Effects of plastic film combined with straw mulch on grain yield and water use efficiency of winter wheat in Loess Plateau[J]. Field Crops Research, 2015, 172: 53–58.
- [23] 杨雪, 逢焕成, 李轶冰, 等. 不同耕作方法对土壤水温动态和春玉米产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(2): 29–37.
YANG Xue, PANG Huancheng, LI Yibing, et al. Effect of different tillage treatments on soil water, temperature changes and spring corn yield in high yield region in North China Plain[J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(2): 29–37. (in Chinese)
- [24] 赵天武, 黄高宝, 轩春香, 等. 黄土高原旱地不同保护性耕作措施对马铃薯田土壤水温效应及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 101–106, 118.
ZHAO Tianwu, HUANG Gaobao, XUAN Chunxiang, et al. Different conservation tillage related with soil water, soil temperature and yield of potato in rainfed farming system[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(1): 101–106, 118. (in Chinese)
- [25] 殷文, 陈桂平, 柴强, 等. 前茬小麦秸秆处理方式对河西走廊地膜覆盖玉米农田土壤水热特性的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(15): 2898–2908.
YIN Wen, CHEN Guiping, CHAI Qiang, et al. Responses of soil water and temperature to previous wheat straw treatments in plastic film mulching maize field at Hexi Corridor[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(15): 2898–2908. (in Chinese)
- [26] 晋凡生, 张宝林. 旱塬地玉米农田免耕覆盖的土壤环境效应[J]. 水土保持研究, 2000, 7(4): 60–64.
JIN Fansheng, ZHANG Baolin. The effects of no-tillage with mulch on soil environment for maize dryland[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 7(4): 60–64. (in Chinese)
- [27] 李友军, 黄明, 吴金芝, 等. 不同耕作方式对豫西旱区坡耕地水肥利用与流失的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 42–45.
LI Youjun, HUANG Ming, WU Jinzhi, et al. Effects of different tillage on utilization and run-off of water and nutrient in sloping farmland of Yuxi dryland area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2): 42–45. (in Chinese)
- [28] 高茂盛, 温晓霞, 黄灵丹, 等. 耕作和秸秆覆盖对苹果园土壤水分及养分的影响[J]. 自然资源学报, 2010, 25(4): 547–555.
GAO Maosheng, WEN Xiaoxia, HUANG Lingdan, et al. The effect of tillage and mulching on apple orchard soil moisture and soil fertility[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(4): 547–555. (in Chinese)
- [29] 郭书亚. 秸秆覆盖深松对土壤肥力及夏玉米生育和产量的影响[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2011.

- GUO Shuya. Effects of straw mulching and subsoiling on soil fertility, growth and grain yield of summer maize[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2011. (in Chinese)
- [30] 魏燕华, 赵鑫, 翟云龙, 等. 耕作方式对华北农田土壤固碳效应的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(17): 87–95. WEI Yanhua, ZHAO Xin, ZHAI Yunlong, et al. Effects of tillages on soil organic carbon sequestration in North China Plain[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(17): 87–95. (in Chinese)
- [31] KAR G, KUMAR A. Effects of irrigation and straw mulch on water use and tuber yield of potato in eastern India[J]. Agricultural Water Management, 2007, 94(1–3): 109–116.
- [32] WANG X B, WU H J, DAI K, et al. Tillage and crop residue effects on rainfed wheat and maize production in northern China[J]. Field Crops Research, 2012, 132: 106–116.
- [33] 霍轶珍, 丁春莲, 银花, 等. 不同材料覆盖对马铃薯田土壤水热状况及产量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(1): 90–94. HUO Yizhen, DING Chunlian, YIN Hua, et al. Effects of different mulching materials on soil moisture-heat condition and yield of potato[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(1): 90–94. (in Chinese)
- [34] CHEN Y Z, CHAN S X, TIAN H H, et al. Straw strips mulch on furrows improves water use efficiency and yield of potato in a rainfed semiarid area[J]. Agricultural Water Management, 2019, 211(1): 142–151.
- [35] PERVAIZ M A, IQBAL M, SHAHZAD K, et al. Effect of mulch on soil physical properties and N, P, K concentration in maize (*Zea mays* L.) shoots under two tillage systems[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2009, 11(2): 119–124.
- [36] GUPTA N, YADAV S, HUMPHREYS E, et al. Effects of tillage and mulch on the growth, yield and irrigation water productivity of a dry seeded rice-wheat cropping system in north-west India[J]. Field Crops Research. 2016, 196: 219–236.
- [37] 黄明, 吴金芝, 李友军, 等. 不同耕作方式对旱作区冬小麦生产和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 50–54. HUANG Ming, WU Jinzhi, LI Youjun, et al. Effects of different tillage management on production and yield of winter wheat in dryland[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1): 50–54. (in Chinese)
- [38] 郭书亚, 张新, 张前进, 等. 秸秆覆盖深松对夏玉米花后穗位叶衰老和产量的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(1): 104–107. GUO Shuya, ZHANG Xin, ZHANG Qianjin. Effects of straw mulching and subsoiling on ear leaf senescence after anthesis and yield of summer maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(1): 104–107. (in Chinese)
- [39] 李念念, 孙敏, 高志强, 等. 极端年型旱地麦田深松和覆盖播种水分消耗与植株氮素吸收、利用关系的研究[J]. 中国农业科学, 2018, 51(18): 3455–3469. LI Niannian, SUN Min, GAO Zhiqiang. A study on the relationship between water consumption and nitrogen absorption, utilization under sub-soiling during the fallow period plus mulched-sowing in humid and dry years of dryland wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(18): 3455–3469. (in Chinese)
- [40] LITHOURGIDIS A S, DHIMA K V, DAMALAS C A, et al. Tillage effects on wheat emergence and yield at varying seeding rates, and on labor and fuel consumption[J]. Crop Science, 2006, 46(3): 1187–1192.
- [41] 王育红, 姚宇卿, 蔡典雄, 等. 豫西旱坡地长期定位保护性耕作研究——Ⅲ. 综合效益分析[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 52–58. WANG Yuhong, YAO Yuqing, CAI Dianxiong, et al. Study on site-specific long-term conservation tillage on dry sloping farmland in Western He'nan—Ⅲ. Analysis of conservation tillage on comprehensive benefits[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(5): 52–58. (in Chinese)

(上接第 102 页)

- [21] 王永维, 何焯亮, 王俊, 等. 旱地蔬菜钵苗自动移栽机栽植性能试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(3): 19–25. WANG Yongwei, HE Zhuoliang, WANG Jun, et al. Experiment on transplanting performance of automatic vegetable pot seedling transplanter for dry land[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(3): 19–25. (in Chinese)
- [22] 汤庆, 吴崇友, 袁文胜, 等. 油菜毯状苗高速移栽机覆土镇压装置结构设计[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(3): 20–22, 33. TANG Qing, WU Chongyou, YUAN Wensheng, et al. Structure design on compacting and covering soil device of rape shallow transplanting machine[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(3): 20–22, 33. (in Chinese)
- [23] 王英, 陈建能, 赵雄, 等. 非圆齿轮行星轮系传动的栽植机构参数优化与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 85–93. WANG Ying, CHEN Jianneng, ZHAO Xiong, et al. Parameter optimization and experiment of planting mechanism driven by planetary non-circular gears[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 85–93. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150912&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.012. (in Chinese)
- [24] 严宵月, 胡建平, 吴福华, 等. 整排取苗间隔放苗移栽机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 7–13. YAN Xiaoyue, HU Jianping, WU Fuhua, et al. Design and experiment of full-row-pick-up and single-dropping seedling transplanter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 7–13. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s102&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S1.002. (in Chinese)
- [25] 陈科, 杨学军, 颜华, 等. 基于 Matlab 的全自动移栽机取苗机构设计与参数优化[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 24–26, 32. CHEN Ke, YANG Xuejun, YAN Hua, et al. Design and parameter optimization of seedling pick-up mechanism based on Matlab[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 24–26, 32. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s105&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S1.005. (in Chinese)