

网络出版时间:2024-07-06 12:20 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2025.01.003
网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1390.S.20240704.1127.006

不同类型地膜对土壤水热状况、酶活性及玉米产量的影响

赵娟,王雅润,杨振兴,周怀平,解文艳,刘志平,贺丽燕

(山西农业大学 资源环境学院,山西 太原 030031)

【摘要】【目的】研究不同类型地膜对土壤水热状况、酶活性及玉米产量和水分利用率的影响,探寻适宜山西旱作区玉米生产的地膜类型。【方法】在山西半干旱半湿润地区,以玉米品种大丰 30 为材料,采用大田试验,设置覆盖聚乙烯地膜(PE)、光降解地膜(G)、全生物降解膜(PB)、不覆膜(CK)4 个处理,分别测定不同生育期(苗期、拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期)4 个处理的土壤含水量、贮水量、温度和酶活性以及玉米产量、水分利用效率,并分析了以上指标的相关性。【结果】在不同生育期,4 个处理对 0~200 cm 土层的土壤含水量影响有明显差异。成熟期,3 种覆膜处理 0~200 cm 土层的土壤含水量均高于 CK。与 CK 和 PE 处理相比,G 和 PB 处理全生育期 0~200 cm 土层的土壤贮水量显著增加。在 0~25 cm 土层,3 种覆膜处理在玉米全生育期的平均土壤温度较 CK 明显增加。与 CK 相比,3 种覆膜处理显著降低了玉米生育期土壤耗水量,显著提高了玉米产量和水分利用效率,其中 G 和 PB 处理的土壤耗水量均较低,玉米产量和水分利用效率均较高。与 CK 相比,PB 处理显著提高了玉米成熟期土壤碱性磷酸酶活性;PE 和 PB 处理提高了玉米整个生育期的土壤脲酶活性;PB 处理提高了玉米拔节期至成熟期土壤蔗糖酶活性。相关性分析结果表明,土壤耗水量与玉米水分利用效率、平均土壤温度和玉米产量呈极显著负相关($P<0.01$),玉米水分利用效率、平均土壤温度与玉米产量呈极显著正相关($P<0.01$),土壤蔗糖酶与脲酶和碱性磷酸酶活性呈极显著正相关($P<0.01$),土壤脲酶活性与玉米产量呈显著正相关($P<0.05$)。【结论】覆膜可以有效提高土壤温度,增加玉米产量,提高水分利用效率,其中全生物降解膜在蓄水保墒、增温、提高玉米水分利用效率和土壤酶活性及增产方面效果较优,可广泛应用于山西旱地玉米栽培中。

【关键词】地膜覆盖;玉米水分利用效率;土壤温度;土壤酶活性;山西旱作区

【中图分类号】S513

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2025)01-0023-10

Effects of different plastic film types on soil water and heat conditions,enzyme activities and maize yield

ZHAO Juan,WANG Yarun,YANG Zhenxing,ZHOU Huaiping,
XIE Wenyan,LIU Zhiping,HE Liyan

(College of Resources and Environment,Shanxi Agricultural University,Taiyuan,Shanxi 030031,China)

Abstract:【Objective】This study investigated the effects of different plastic film types on soil water and heat conditions,enzyme activities,maize yield and water use efficiency and explored plastic film suitable for maize production in the dryland area of Shanxi.【Method】In semi-arid and semi-humid areas of Shanxi, field experiments were conducted using maize variety Dafeng 30 in four treatments including covered poly-

【收稿日期】2023-10-18

【基金项目】国家重点研发计划项目(2023YFD1900402,2021YFD1900705-01);国家科技基础资源调查专项课题(2021FY100501);山西农业大学科技创新提升工程(CXGC2023025)

【作者简介】赵娟(2000-),女,山西寿阳人,在读硕士,主要从事旱地作物-土壤互动与调控研究。E-mail:zj13593082694@163.com

【通信作者】杨振兴(1981-),男,山西五台人,副研究员,硕士生导师,主要从事旱作农田水肥高效利用研究。

E-mail:yang1981che@163.com

ethylene film (PE), photodegradable film (G), fully biodegradable film (PB) and non-covered film (CK). Soil moisture content, storage capacity, temperature, enzyme activity, maize yield and water use efficiency at different growth stages (seedling stage, jointing stage, tasseling stage, filling stage and maturity stage) were measured, and the correlations between above indicators were analyzed. **【Result】** There were significant differences in the effects of four treatments on soil moisture content in the 0—200 cm soil layer at different growth stages. During the maturity period, soil moisture content of the 0—200 cm soil layer was higher than that of CK in all three mulching treatments. Compared with CK and PE treatments, G and PB treatments significantly increased soil water storage in the 0—200 cm soil layer throughout the growth period. In the 0—25 cm soil layer, average soil temperature during the entire growth period in the three mulching treatments were significantly increased compared with CK. Compared with CK, the three mulching treatments significantly reduced soil water consumption during growth periods, while significantly improved maize yield and water use efficiency. Soil water consumption of G and PB treatments was lower, while maize yield and water use efficiency were higher. Compared with CK, PB treatment significantly increased soil alkaline phosphatase activity during the maturity period. PE and PB treatments increased soil urease activity throughout the entire growth period. PB treatment increased soil sucrose activity from maize jointing stage to maturity stage. Soil water consumption had significantly negative correlation with maize water use efficiency, average soil temperature and maize yield ($P < 0.01$). There were highly significant positive correlations ($P < 0.01$) between water use efficiency, average soil temperature and maize yield. There were highly significant positive correlations ($P < 0.01$) between soil sucrose and urease and alkaline phosphatase activities and there was significant positive correlation ($P < 0.05$) between soil urease activity and corn yield. **【Conclusion】** Film mulching effectively increased soil temperature, corn yield and water use efficiency. Fully biodegradable film had better effects in water storage and moisture retention, temperature increase and improvement of corn water use efficiency, soil enzyme activity and yield. Thus, it is recommended to be applied to the cultivation of dryland corn in Shanxi.

Key words: mulch cover; maize water use efficiency; soil temperature; soil enzyme activity; Shanxi dry farming area

据报道,山西省玉米种植面积约为 173.3 万 hm^2 ,玉米产量可高达 95 亿 kg 左右^[1]。可知玉米产业在山西省农业发展中有着举足轻重的作用。然而山西省旱作区降水年际间变化大、季节间分配不均匀,与玉米生长发育需水量不匹配,因此如何提高山西省旱作区农田土壤蓄水保水及水分调控能力,提升玉米水分利用效率,成为旱作玉米生产的关键。地膜覆盖具有防止冻害、保温、保水和提高作物产量等效果,因此被广泛应用于干旱和半干旱地区^[2-3]。然而随着地膜利用面积的增大,地膜对农业生态环境造成的“白色污染”问题越来越严重。其中聚乙烯地膜极难降解,对农田土壤及周围环境造成了污染^[4]。20 世纪 70 年代以来,欧美和日本等国家科学家提出了降解塑料的概念^[5],并对以光降解和生物降解为代表的降解材料进行多年研究,研制出可降解、无污染的地膜,从而为根治地膜污染提供了理想途径^[6-7]。

地膜覆盖改善了土壤水、肥、气、热条件,进而对土壤酶活性产生了影响,而土壤酶对养分转化发挥着重要作用,其活性不但是衡量肥力的重要标准,还能反映土壤生化反应的强弱^[8]。目前关于不同地膜对作物生长发育和土壤水热状况影响的研究较多^[9-13],但是比较不同类型地膜对山西旱作区土壤水热状况及酶活性的研究较少。此外,由于地膜制作工艺、地域、土壤类型和作物生长发育不同,导致各种类型地膜在不同地区的作用有差异,因此应针对不同地区自然环境和作物种类等条件合理选择地膜类型。本研究在山西半干旱半湿润地区选择了 3 种具有代表性的地膜,对比不同类型地膜对土壤水分、温度、酶活性以及玉米产量和水分利用效率的影响,探寻适宜当地玉米生产和生态环境的地膜类型,进而为该地区土壤水分的可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

大田试验于 2022 年在山西省寿阳县景尚乡的中国农业科学院试验站(113°12'E, 37°45'N)进行,该地区属温带大陆性季风气候区,半干旱半湿润类型,试验地以种植玉米、谷子、杂粮和旱地蔬菜等作物为主,一年一熟,年均气温 8.1 °C,无霜期为 140 d,年均降雨量为 474.2 mm,降雨主要集中在 6—9 月,占全年降雨的 70%左右。2022 年降雨量见图 1,玉米生育期(5—9 月)降雨量为 453.3 mm。

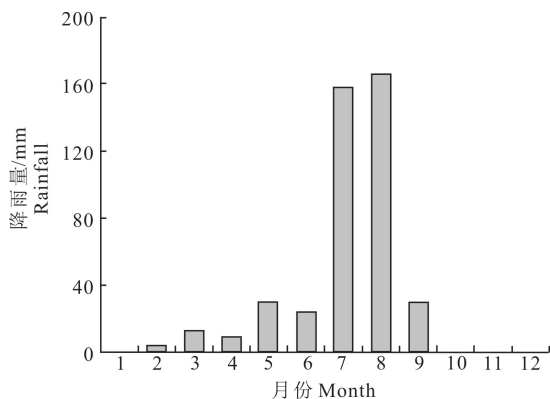


图 1 2022 年山西寿阳县玉米生育期各月降雨量

Fig.1 Monthly rainfall during maize growth period in Shouyang, Shanxi in 2022

土壤质地为褐土,试验开始前 0~20 cm 土层土壤基本理化性质为:有机质 15.62 g/kg,全氮 1.17 g/kg,全磷 0.77 g/kg,全钾 23.56 g/kg,有效氮 45.51 mg/kg,有效磷 17.63 mg/kg,速效钾 188.89 mg/kg,pH 8.48,体积质量 1.34 g/cm³。

1.2 供试材料

1.2.1 地膜 聚乙烯地膜:主要成分为聚乙烯,厚度 0.006 mm,山西民生塑料制品有限公司生产;光降解地膜:主要成分为聚乙烯和光降解助剂,厚度 0.008 mm,吉林省白山市喜丰塑业生产;全生物降解膜:主要成分为二酸丁二醇酯和对苯二甲酸丁二醇(PBAT),厚度 0.008 mm,山东天壮环保科技有限公司生产。以上 3 种地膜宽幅均为 800 mm。

1.2.2 供试玉米 玉米品种为大丰 30,由山西大丰种业有限公司提供。

1.3 试验设计

试验设置 3 个处理,分别为覆盖聚乙烯地膜(PE)、光降解地膜(G)、全生物降解膜(PB),以不覆膜(CK)作为对照。小区面积 115 m²,各处理小区随机排列。各小区均施用等量 N、P₂O₅、K₂O,施用

量分别为 225,117 和 49 kg/hm²,3 种肥料均作为底肥于春播前一次性施入土壤。玉米播种时间为 2022 年 4 月下旬,株距为 50 cm,行距为 30 cm,于 10 月上旬收获。播种后进行不同地膜覆盖,且整个玉米生育期均覆盖地膜。其他田间管理按照大田试验常规方法进行,无灌溉条件。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 土壤含水量 于玉米播种前(4 月 27 日)、苗期(5 月 13 日)、拔节期(6 月 10 日)、抽穗期(7 月 21 日)、灌浆期(8 月 28 日)和成熟期(10 月 3 日),采集 0~200 cm 土层土壤样品,每 20 cm 为 1 层,采用烘干法测定土壤含水量。

1.4.2 土壤温度 在每个小区中间插入曲管地温计,测定 5,10,15,20,25 cm 土层的土壤温度,每个生育期连续测定 3 d,从 08:00 至 20:00,每隔 2 h 记录 1 次,取 3 d 土壤温度的平均值作为测定值。

1.4.3 土壤酶活性 采集玉米苗期、拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期 0~20 cm 土层的土样,烘干后过 1 mm 筛用于测定土壤酶活性,其中土壤碱性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法^[14]测定,土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法^[14]测定,土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[14]测定。

1.4.4 玉米产量 待玉米成熟后,将每个小区的玉米全部收获,测定籽粒产量,将小区产量换算为每公顷玉米产量。

1.5 数据处理与分析

$$W = h \times a \times \rho \times 10 / 100;$$

$$ET = W_a - W_b + P + I;$$

$$RUE = Y / ET.$$

式中:W 为土壤贮水量(mm),h 为土层深度(cm),a 为土壤含水量(%),ρ 为土壤体积质量(g/cm³),ET 为土壤耗水量(mm),W_a 和 W_b 分别为播种前和收获后 0~200 cm 土层土壤贮水量(mm),P 为玉米生育期降雨量(mm),I 为生育期灌溉量(mm),RUE 为玉米水分利用效率(kg/(hm²·mm)),Y 为玉米产量(kg/hm²)。

数据整理采用 Excel 2021,用 Origin 进行绘图,用 SPSS 22.0 进行单因素方差分析(ANOVA)和相关性分析。

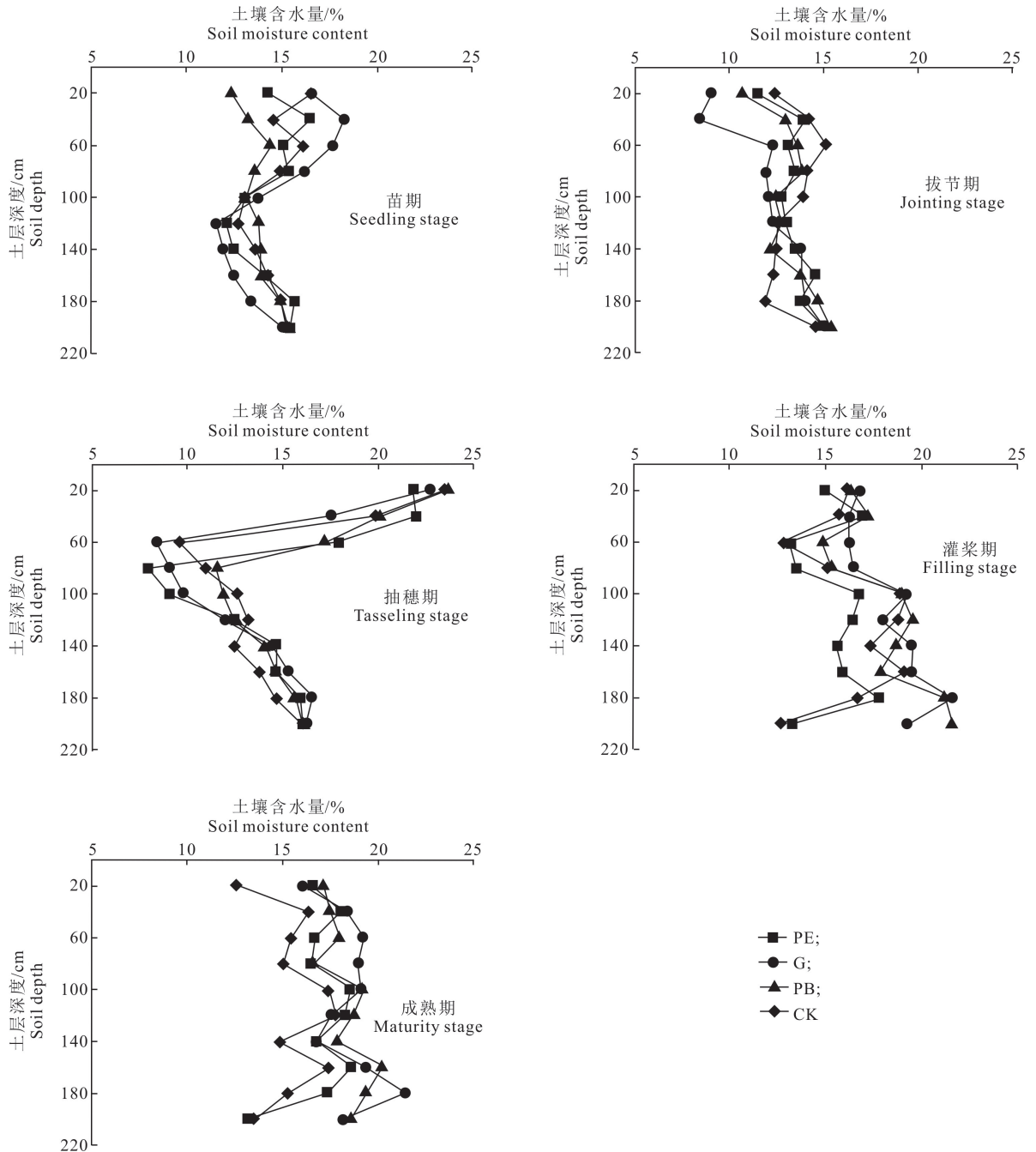
2 结果与分析

2.1 不同覆膜处理对各生育期玉米土壤水分状况的影响

2.2.1 土壤含水量 图 2 显示,随着生育期的推

进,不同覆膜处理 0~200 cm 土层土壤含水量有明显差异。在苗期和拔节期,4 个处理土壤含水量变化趋势基本相同,即随着土层深度的增加总体呈先升高后下降再升高的趋势;在抽穗期,4 个处理土壤

含水量随着土层深度的增加总体呈先降低后升高的趋势;在灌浆期和成熟期,4 个处理的土壤含水量无明显变化规律。



PE. 聚乙烯地膜;G. 光降解地膜;PB. 全生物降解地膜;CK. 不覆膜。下图同。

PE. Polyethylene film;G. Photodegradable plastic film;PB. Fully biodegradable plastic film;

CK. Not covered with film. The same below.

图 2 覆膜处理对不同生育期玉米 0~200 cm 土层土壤含水量的影响

Fig. 2 Effect of mulching treatment on soil moisture content in 0—200 cm soil layer of maize at different growth stages

苗期,在 0~100 cm 土层,G 处理的土壤含水量最高,PB 处理最低,PE 和 CK 处理的土壤含水量介于二者之间;在 100~200 cm 土层,G 处理土壤含水

量最低。拔节期,在 0~100 cm 土层,CK 的土壤含水量明显高于各覆膜处理,而在 100~200 cm 土层,CK 处理土壤含水量总体低于各覆膜处理。抽穗

期,在 0~80 cm 土层,PE 和 PB 处理土壤含水量均较高;在 80~120 cm 土层,CK 土壤含水量总体高于其他覆膜处理;在 120~200 cm 土层,覆膜处理土壤含水量高于 CK。灌浆期,G 处理的土壤含水量总体高于其他处理。成熟期,3 种覆膜处理 0~200 cm 土层土壤含水量较 CK 均明显增加。

2.2.2 土壤贮水量 如表 1 所示,苗期,与 CK 相比,PE 和 PB 处理土壤贮水量分别降低了 6.20 和 21.64 mm;G 处理的土壤贮水量提高了 3.69 mm,3 个覆膜处理与 CK 差异不显著。拔节期,与 CK 相比,PE 处理的土壤贮水量提高了 3.83 mm,PB 和 G 处理的土壤贮水量分别降低了 29.23 和 2.55

mm,3 个覆膜处理与 CK 差异不显著。抽穗期,与 CK 相比,PE 和 G 处理的土壤贮水量分别降低了 10.59 和 41.28 mm,PB 处理的土壤贮水量提高了 0.97 mm,其中 CK 与 G 处理间差异显著。灌浆期,与 CK 相比,PE 处理土壤贮水量显著降低了 23.97 mm,PB 和 G 处理的土壤贮水量分别显著提高了 49.94 和 47.45 mm。成熟期,与 CK 相比,PE、G 和 PB 处理均显著提高了土壤贮水量。与 CK 相比,PE、G、PB 处理全生育期土壤贮水量分别增加了 0.23%,3.14%和 4.93%,可知 PB 处理在提高土壤贮水量方面效果优于 PE 和 G 处理。

表 1 覆膜处理对不同生育期玉米 0~200 cm 土壤贮水量的影响

Table 1 Effect of film covering treatment on soil water storage of 0—200 cm at different growth stages of corn

处理 Treatment	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Tasseling stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage	全生育期 Whole growth period
PE	385.06 ab	358.56 a	410.33 ab	411.62 c	454.13 b	421.96 b
G	394.95 a	325.50 b	379.64 b	485.53 a	492.79 a	434.21 a
PB	369.62 b	352.18 ab	421.89 a	483.04 a	487.62 a	441.74 a
CK	391.26 a	354.73 ab	420.92 a	435.59 b	414.30 c	420.99 b

注:PE. 聚乙烯地膜;G. 光降解地膜;PB. 全生物降解地膜;CK. 不覆膜。同列数据后标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Note:PE. Polyethylene film;G. Photodegradable plastic film;PB. Fully biodegradable plastic film;CK. Not covered with film. Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$). The same below.

2.2 不同覆膜处理对各生育期玉米土壤温度的影响

图 3 显示,在同一土层,随着生育期的推进,各处理土壤温度总体呈先升高后降低的趋势。在同一个生育期下,随着土层深度的增加,各处理土壤温度总体呈下降的趋势。在苗期,与 CK 相比,PE、G 和 PB 处理 0~25 cm 土层平均土壤温度显著提高;在成熟期,G 处理 0~25 cm 土层平均土壤温度显著高于其他处理;其余生育期 4 个处理之间无明显变化规律。在全生育期,与 CK 相比,G、PE 和 PB 处理 0~25 cm 土层平均土壤温度均显著增加。综上可知,与 CK 相比,覆膜处理提高了 0~25 cm 土层平均土壤温度。

2.3 不同覆膜处理对玉米产量和水分利用效率的影响

如表 2 所示,与 CK 相比,PE、G 和 PB 处理玉米耗水量分别显著降低了 39.83,78.5 和 73.32 mm;但 G 与 PB 处理差异不显著。与 CK 相比,PE、G 和 PB 处理玉米产量分别提高了 19.7%,14.0%和 17.1%,且各处理间差异显著($P < 0.05$)。与 CK 相比,PE、G 和 PB 处理玉米水分利用效率分别显著提高了 30.16%,35.51%和 37.46%。

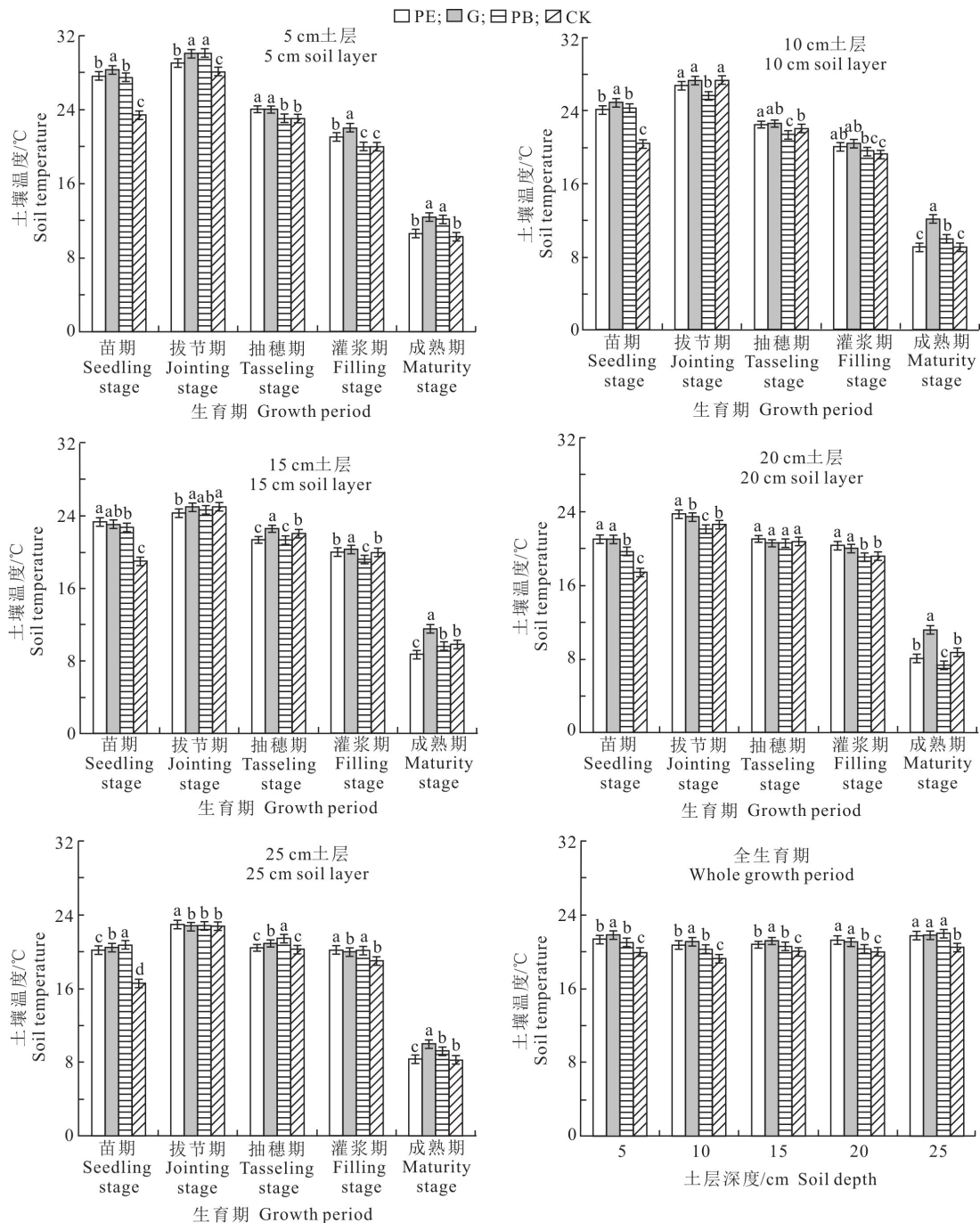
2.4 不同覆膜处理对各生育期玉米土壤酶活性的影响

2.4.1 碱性磷酸酶活性 碱性磷酸酶能加快有机磷分解,提高土壤磷含量和磷利用效率,是评价土壤磷元素肥力的重要指标^[11]。图 4 显示,在 0~20 cm 土层,不同处理碱性磷酸酶活性以成熟期最高。在苗期、拔节期和抽穗期,3 种覆膜处理的土壤碱性磷酸酶活性均低于 CK。在苗期,与 CK 相比,PE 和 G 处理土壤碱性磷酸酶活性显著降低了 27.19%和 48.76%,PB 处理与 CK 差异不显著。在拔节期和抽穗期,与 CK 相比,PE、G 和 PB 处理土壤碱性磷酸酶活性显著降低。在灌浆期,与 CK 相比,PE 处理土壤碱性磷酸酶活性显著提高了 25.29%,而 G 和 PB 处理无显著变化。在成熟期,与 CK 相比,PB 处理土壤碱性磷酸酶活性显著提高了 25.68%,PE 和 G 处理与 CK 处理差异不显著($P < 0.05$)。

2.4.2 脲酶活性 作为土壤氮循环中的重要物质,脲酶参与了植物氮源吸收利用,其活性是反映土壤供氮能力的重要指标^[12]。图 4 显示,在 0~20 cm 土层,不同处理的脲酶活性以成熟期最高。不同覆膜处理对整个生育期土壤脲酶活性的影响有差异。

苗期,与 CK 相比,PB 处理土壤脲酶活性提高了 12.34%,而 G 处理土壤脲酶活性降低了 7.45%,PE 处理土壤脲酶活性略有提高,但 3 种覆膜处理与 CK 差异不显著。拔节期,与 CK 相比,PE、G 和 PB 处理土壤脲酶活性分别显著提高了 22.66%,

26.40%和 42.77%。抽穗期和灌浆期,PE 和 PB 处理与 CK 间的土壤脲酶活性差异不显著,但 G 处理土壤脲酶活性显著低于 CK。成熟期,PE、G 和 PB 处理土壤脲酶活性较 CK 分别提高了 21.19%,3.76%和 12.74%,但 G 处理与 CK 差异不显著。



图柱上标不同小写字母表示同一生育期不同覆膜处理之间差异显著($P < 0.05$)。下图同。

Different lowercase letters indicate significant difference between different mulching treatments during corn growth periods ($P < 0.05$). The same below.

图 3 覆膜处理对不同生育期玉米 0~25 cm 土层土壤温度的影响

Fig. 3 Effect of mulching treatment on soil temperature in 0~25 cm soil layer of corn at different growth stages

表 2 不同覆膜处理玉米的产量和水分利用效率

Table 2 Corn yield and water use efficiency under different mulching treatments

处理 Treatment	土壤耗水量/mm Water consumption	产量/(kg·hm ⁻²) Yield	水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹) Water use efficiency
PE	455.14 b	15 184.5 a	33.38 b
G	416.47 c	14 463.0 c	34.73 ab
PB	421.65 c	14 856.0 b	35.24 a
CK	494.97 a	12 685.5 d	25.64 c

2.4.3 蔗糖酶活性 蔗糖酶能有效分解土壤中的蔗糖,提高植物对碳元素的吸收和利用,促进植物的生长和发育^[13]。图 4 显示,在 0~20 cm 土层,不同覆膜处理对不同生育期的蔗糖酶活性影响有差异。灌浆期,与 CK 相比,PE、G 和 PB 处理土壤蔗糖酶

活性分别提高了 16.51%,8.42%和 3.50%;其他生育期,土壤蔗糖酶活性无明显变化规律。与 CK 相比,PB 处理在拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期土壤蔗糖酶活性分别提高了 50.06%,3.52%,3.50%和 24.70%。可知,PB 处理提高了土壤蔗糖酶活性。

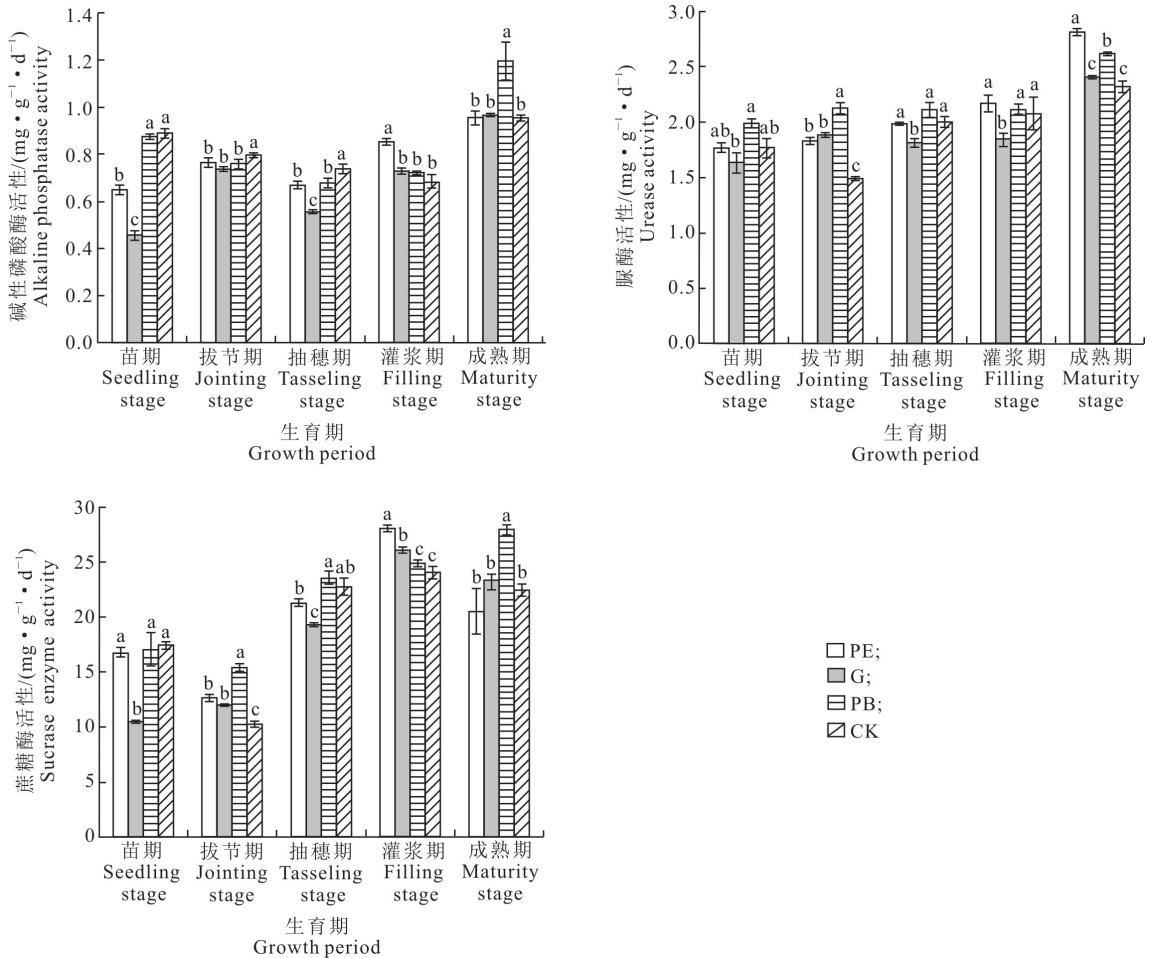


图 4 不同覆膜处理对各生育期玉米土壤酶活性的影响

Fig. 4 Effects of different film mulching treatments on soil enzyme activities at different corn growth stages

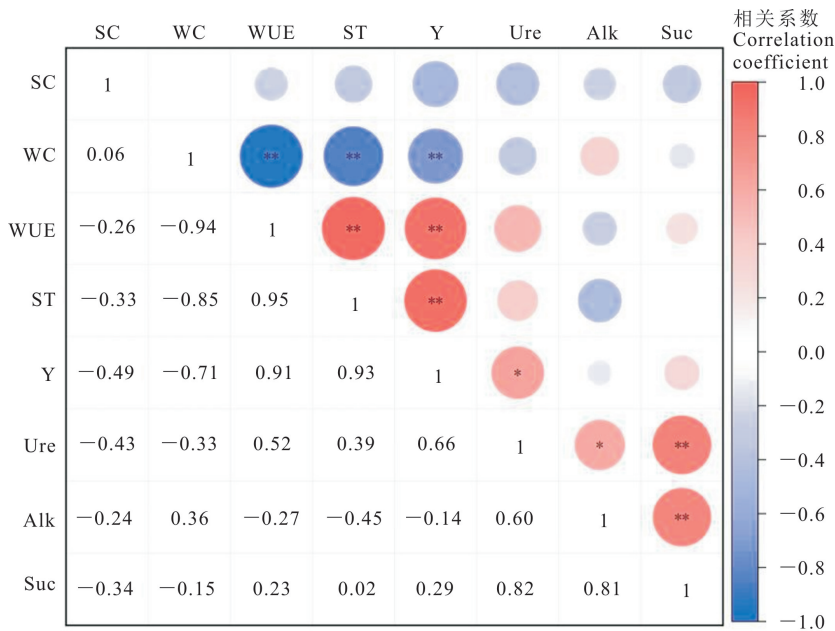
2.5 不同覆膜处理土壤水热状况、酶活性与玉米产量的相关性

图 5 显示,土壤水热状况、酶活性及玉米产量间均存在相关性。土壤耗水量与玉米水分利用效率、平均土壤温度和玉米产量呈极显著负相关($P < 0.01$)。玉米水分利用效率、平均土壤温度与玉米产量呈极显著正相关($P < 0.01$),这是因为覆膜会提

高土壤表层的温度和水分,促进玉米生长,导致叶面积指数快速增长^[15],对光的吸收能力增强,有更多的物质积累产生,从而提高玉米产量。土壤蔗糖酶与脲酶和碱性磷酸酶活性呈极显著正相关($P < 0.01$),这表明土壤中蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶在进行正常酶促反应时,除了发挥自身特有功能外,三者之间还相互促进,共同影响作物生长。土壤脲酶

活性与玉米产量呈显著正相关($P < 0.05$),说明脲酶活性是影响产量的重要因素,这与白雪等^[15]的研

究结果相似。



SC. 土壤贮水量; WC. 土壤耗水量; WUE. 玉米水分利用效率; ST. 平均土壤温度; Y. 玉米产量; Ure. 脲酶活性; Alk. 碱性磷酸酶活性; Suc. 蔗糖酶活性。* 表示在 $P < 0.05$ 水平显著相关, ** 表示在 $P < 0.01$ 水平显著相关。

SC. Soil water storage; WC. Soil water consumption; WUE. Maize water use efficiency; ST. Average soil temperature; Y. Maize yield; Ure. Urease activity; Alk. Alkaline phosphatase activity; Suc. Sucrase activity. * indicates significant at the $P < 0.05$ level and ** indicates significant at the $P < 0.01$ level.

图 5 不同覆膜处理土壤水热状况、酶活性与玉米产量的相关性

Fig. 5 Correlations between soil hydrothermal conditions, maize yield and soil enzyme activities

3 讨论

3.1 不同覆膜处理对土壤水分的影响

水分是制约旱作玉米生长发育的重要影响因素,地膜覆盖可以有效改善土壤的水分状况,因此在雨养农业区得到了广泛应用^[16]。前人研究发现,降解膜能够有效改善土壤水肥状况,促进玉米生长发育,且作用与 PE 膜相当^[17-18]。研究发现,与不覆膜处理相比,地膜覆盖处理显著提高了玉米生育期 0~140 cm 土层土壤贮水量^[19-21]。方彦杰等^[22]研究发现,覆膜可以增加苦荞地的土壤贮水量,降低土壤水分无效蒸发。本研究发现,在苗期和拔节期,覆膜处理土壤含水量随着土层深度的增加呈升高-降低-升高的趋势,这与张旭东等^[23]、LIU 等^[6]的研究结果一致。本研究还发现,在不同生育期,不同覆膜处理对土壤含水量的影响有差异,在 0~100 cm 土层,除了拔节期和抽穗期,其余生育期土壤含水量总体以 G 处理最高,这是因为覆膜后,在光降解地膜(G)内易形成水珠,凝结的水珠回落,从而提高了土壤含水量,故其保水性高于其他地膜。在拔节期,在

0~100 cm 土层,覆膜处理土壤含水量均低于 CK,是因为拔节期玉米需水量高,且覆膜处理玉米生长优于 CK,从而导致覆膜处理土壤含水量降低。在 0~200 cm 土层,全生育期平均土壤贮水量从高到低表现为 PB>G>PE>CK。这主要是光降解地膜和生物降解地膜在玉米生育后期开始裂解,可以有效接收雨水所致。

3.2 不同覆膜处理对土壤温度的影响

温度是影响植物生长的关键环境因素之一,土壤温度变化 1 °C 将对植物生长产生较大影响^[24]。申丽霞等^[25]研究发现,可降解地膜能明显提高 0~20 cm 土层土壤温度。本研究发现,在全生育期,与 CK 相比,覆膜处理明显提高了 0~25 cm 土层平均土壤温度,这与前人的研究一致。本研究发现,苗期和拔节期覆膜处理的土壤温度明显高于生育后期,一方面是因为生育后期地膜的保温效果减弱,另一方面与气温下降有关。苗期,与 CK 处理相比,PE、G 和 PB 处理 0~25 cm 土层土壤平均温度显著提高,这与张琴^[26]、杨世佳等^[27]、WANG 等^[28]的研究结果一致。

3.3 不同覆膜处理对玉米产量和水分利用效率的影响

地膜覆盖改善了农田的土壤水热状况,促进了作物生长,提高了作物产量和水分利用效率。本研究发现,与 CK 相比,PE、G 和 PB 处理玉米产量分别提高了 19.7%,14.0% 和 17.1%,玉米水分利用效率分别提高了 30.16%,35.51% 和 37.46%。这与李强等^[29]、徐佳星等^[30]、LI 等^[31]的研究结果一致。这主要是因为覆膜处理具有良好的增温效果和保水作用,降低了玉米生育期的耗水量,增加了玉米根系对水分的利用效率,从而提高了玉米产量。

3.4 不同覆膜处理对土壤酶活性的影响

研究表明,地膜覆盖可以提高土壤酶活性^[8,32-33]。本研究结果表明,与 CK 相比,覆膜处理降低了苗期到抽穗期土壤碱性磷酸酶的活性,其中 PB 处理土壤碱性磷酸酶活性降低幅度最小;灌浆期至成熟期,覆膜处理提高了土壤碱性磷酸酶活性,其中成熟期 PB 处理土壤碱性磷酸酶活性较 CK 显著提高了 25.68%,这与要凯等^[34]、朱利霞等^[35]的研究结果一致。整个生育期,与 CK 相比,PB 处理明显提高了土壤脲酶活性,与胡庆兰等^[36]研究结果相似。拔节期到成熟期,与 CK 相比,PB 处理提高了土壤蔗糖酶活性,这与白雪等^[15]的研究结果一致,这主要是因为随着生育期推进,全生物降解膜裂解,土壤呼吸增强,玉米生长旺盛,提高了土壤脲酶和蔗糖酶活性。总体而言,PB 处理提高了玉米生育期土壤碱性磷酸酶、脲酶和蔗糖酶活性。

4 结 论

在山西半干旱半湿润地区,与不覆膜处理相比,覆膜处理可以有效提高 0~200 cm 土层土壤贮水量和土壤温度,影响土壤碱性磷酸酶、脲酶和蔗糖酶活性,增加玉米产量和水分利用效率,其中全生物降解膜在蓄水保墒、增温、提高水分利用效率和土壤酶活性及增产方面效果较优,可以推荐应用于旱地玉米栽培中。

[参考文献]

- [1] 曾智勇. 我国玉米生产现状分析及建议 [J]. 粮油与饲料科技, 2022(3):4-8.
ZENG Z Y. Analysis and suggestions on the current situation of corn production in China [J]. Grain Oil and Feed Technology, 2022(3):4-8.
- [2] MENG Q F, YUE S C, HOU P, et al. Improving yield and nitrogen use efficiency simultaneously for maize and wheat in

- China: a review [J]. Pedosphere, 2016, 26(2):137-147.
- [3] 杨振兴,周怀平,解文艳,等. 山西旱作区不同类型地膜对谷子产量影响及降解性能研究 [J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(6):1307-1315.
YANG Z X, ZHOU H P, XIE W Y, et al. Effects of different types of mulching film on millet yield and their degradation properties in dry farming area of Shanxi Province, China [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2022, 41(6):1307-1315.
- [4] 邓爱琴,赵保卫,朱正钰,等. 土壤中微塑料的来源与其生态毒理效应研究进展 [J]. 环境化学, 2023, 42(2):345-357.
DENG A Q, ZHAO B W, ZHU Z Y, et al. Research progress on sources and ecotoxicological effects of microplastics in soil [J]. Environmental Chemistry, 2023, 42(2):345-357.
- [5] KAPANEN A, SCHETTINI E, VOX G, et al. Performance and environmental impact of biodegradable films in agriculture: a field study on protected cultivation [J]. Journal of Polymers and the Environment, 2008, 16(2):109-122.
- [6] LIU Y, WANG J, LIU D B, et al. Straw mulching reduces the harmful effects of extreme hydrological and temperature conditions in citrus orchards [J]. PLoS One, 2014, 9(1):e87094.
- [7] 刘美霞,刘秀,赵燕,等. 地膜覆盖对旱作春玉米农田土壤微生物碳源代谢的影响 [J]. 生态学报, 2022, 42(22):9213-9225.
LIU M X, LIU X, ZHAO Y, et al. Effects of film mulching on soil microbial carbon source metabolism in dry-farmland [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(22):9213-9225.
- [8] JIANG N, JIN L F, TEIXERIA DA SILVA J A, et al. Activities of enzymes directly related with sucrose and citric acid metabolism in citrus fruit in response to soil plastic film mulch [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 168:73-80.
- [9] HUANG F Y, LIU Z H, MOU H Y, et al. Impact of farmland mulching practices on the soil bacterial community structure in the semiarid area of the Loess Plateau in China [J]. European Journal of Soil Biology, 2019, 92:8-15.
- [10] 李仙岳,彭遵原,史海滨,等. 不同类型地膜覆盖对土壤水热与葵花生长的影响 [J]. 农业机械学报, 2015, 46(2):97-103.
LI X Y, PENG Z Y, SHI H B, et al. Effects of different degradable films mulching on soil water potential, temperature and sunflower growth [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(2):97-103.
- [11] 夏文,林涛,褚晓升,等. RZWQM2 模型模拟地膜覆盖时间对南疆棉田水分利用效率及产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2021, 37(11):140-150.
XIA W, LIN T, CHU X S, et al. Effects of mulching time on water use efficiency and yield of cotton in southern Xinjiang simulated by RZWQM2 model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(11):140-150.
- [12] 白雪,周怀平,解文艳,等. 不同类型地膜覆盖对玉米农田水热状况及产量的影响 [J]. 土壤, 2018, 50(2):414-420.
BAI X, ZHOU H P, XIE W Y, et al. Effects of different plastic film mulching on soil moistures, temperatures and maize yields [J]. Soils, 2018, 50(2):414-420.

- [13] 贾伟,周怀平,解文艳,等.长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008,14(4):700-705.
JIA W,ZHOU H P,XIE W Y, et al. Effects of long-term inorganic fertilizer combined with organic manure on microbial biomass C,N and enzyme activity in cinnamon soil [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2008,14(4):700-705.
- [14] 马晓楠,杨振兴,周怀平,等.不同地膜覆盖对谷子土壤水热动态及酶活性的影响 [J]. 山西农业科学,2022,50(6):836-845.
MA X N,YANG Z X,ZHOU H P, et al. Effects of different plastic film mulching on soil hydrothermal dynamics and enzyme activity of millet [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences,2022,50(6):836-845.
- [15] 白雪,周怀平,解文艳,等.不同类型地膜覆盖对玉米农田土壤酶活性的影响 [J]. 农业资源与环境学报,2018,35(4):381-388.
BAI X,ZHOU H P,XIE W Y, et al. Effects of different plastic film mulching on soil enzyme activity in maize farmland [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment,2018,35(4):381-388.
- [16] 王斌,万艳芳,王金鑫,等. PBAT 型全生物降解地膜对南疆棉花和玉米产量及土壤理化性质的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2019,38(1):148-156.
WANG B,WAN Y F,WANG J X, et al. Effects of PBAT biodegradable plastic mulch film on soil physical and chemical properties and yields of cotton and maize in Southern Xinjiang, China [J]. Journal of Agro-Environment Science,2019,38(1):148-156.
- [17] 周礼恺. 土壤酶学 [M]. 北京: 科学出版社,1987.
ZHOU L K. Soil enzymology [M]. Beijing: Science Press,1987.
- [18] YE H L,CHEN Z G,JIA T T, et al. Response of different organic mulch treatments on yield and quality of *Camellia oleifera* [J]. Agricultural Water Management, 2021, 245: 106654.
- [19] 孟玉,王振华,李文昊,等.降解膜覆盖对滴灌玉米土壤水温变化及其生长的影响 [J]. 西北农业学报,2021,30(2):192-202.
MENG Y,WANG Z H,LI W H, et al. Effects of degradable film mulching on soil hydrothermal variation and growth of maize under drip irrigation [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica,2021,30(2):192-202.
- [20] VOLOUDAKIS D,KARAMANOS A,ECONOMOU G, et al. Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop simulation model and discriminant function analysis [J]. Agricultural Water Management,2015,147:116-128.
- [21] 李秀萍,连海飞,白春华,等.地膜覆盖对大兴安岭南麓丘陵旱作区土壤温度、水分与玉米产量的影响 [J]. 北方农业学报, 2021,49(2):63-70.
LI X P,LIAN H F,BAI C H, et al. Effects of plastic film mulching on soil temperature,moisture and maize yield in the dry farming area of the southern foothills of Daxing'anling Mountains [J]. Journal of Northern Agriculture,2021,49(2):63-70.
- [22] 方彦杰,张绪成,于显枫,等.施肥对半干旱区旱地全膜覆土穴播苦荞产量及水肥利用率的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2020,22(9):143-152.
FANG Y J,ZHANG X C,YU X F, et al. Impacts of fertilization on yield and water-fertilizer use efficiency of Tartary buckwheat with whole field soil plastic mulching in semiarid area [J]. Journal of Agricultural Science and Technology,2020,22(9):143-152.
- [23] 张旭东,王智威,韩清芳,等.玉米早期根系构型及其生理特性对土壤水分的响应 [J]. 生态学报,2016,36(10):2969-2977.
ZHANG X D,WANF Z W,HAN Q F, et al. Effects of water stress on the root structure and physiological characteristics of early-stage maize [J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(10):2969-2977.
- [24] 霍铁珍,丁春莲,王文达,等.黑色地膜覆盖土壤水热效应及对玉米产量的影响 [J]. 水土保持研究,2020,27(1):335-339.
HUO Y Z,DING C L,WANG W D, et al. Effects of black plastic film mulching on soil moisture,soil temperature and maize yield [J]. Research of Soil and Water Conservation,2020,27(1):335-339.
- [25] 申丽霞,兰印超,李若帆.不同降解膜覆盖对土壤水热与玉米生长的影响 [J]. 干旱地区农业研究,2018,36(1):200-206.
SHEN L X,LAN Y C,LI R F. Effects of different degradable films on soil moisture,temperature and growth of maize [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2018,36(1):200-206.
- [26] 张琴.不同颜色地膜覆盖对玉米土壤水热状况及产量的影响 [J]. 节水灌溉,2017(4):57-61.
ZHANG Q. Effects of different color film mulching on soil moisture-heat and yield of maize [J]. Water Saving Irrigation,2017(4):57-61.
- [27] 杨世佳,潘中涛,陈瑾,等.黔中山区不同覆膜方式对土壤水温、玉米根系及产量的影响 [J]. 江苏农业科学,2016,44(1):119-122.
YANG S J,PAN Z T,CHEN J, et al. Effects of different film mulching methods on soil water temperature,maize root system and yield in the middle mountain area of Guizhou Pro-vice [J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2016,44(1):119-122.
- [28] WANG S H,YU H X,XI B D, et al. Change in the bio-uptake of soil phthalates with increasing mulching years; underlying mechanism and response to temperature rise [J]. Journal of Cleaner Production,2021,287:125049.
- [29] 李强,王琦,张恩和,等.生物可降解地膜覆盖对干旱灌区玉米产量和水分利用效率的影响 [J]. 干旱区资源与环境,2016,30(9):155-159.
LI Q,WANG Q,ZHANG E H, et al. Effects of biodegradable film mulching on grain yields and water use efficiency of maize in arid oasis irrigation area [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2016,30(9):155-159.

- YANG J, GUO W Q, YANG W H, et al. Migration and risk of loss of soluble organic nitrogen in paddy soil after incorporation of Chinese milk vetch [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2022, 59(3): 786-796.
- [33] 白金泽, 刘镇远, 宋佳杰, 等. 秸秆还田配施生物炭对关中平原夏玉米产量和土壤 N_2O 排放的影响 [J]. *环境科学*, 2022, 43(8): 4379-4386.
- BAI J Z, LIU Z Y, SONG J J, et al. Effects of straw returning and biochar application on summer maize yield and soil N_2O emission in Guanzhong plain [J]. *Environmental Science*, 2022, 43(8): 4379-4386.
- [34] 陈仕友, 王祎, 白彦锋, 等. 土壤可溶性有机氮研究进展 [J]. *生态科学*, 2020, 39(5): 233-239.
- CEHN S Y, WANG Y, BAI Y F, et al. Review on soluble organic nitrogen in soil [J]. *Ecological Science*, 2020, 39(5): 233-239.
- [35] 孟毅, 蔡焕杰, 王健, 等. 麦秆覆盖对夏玉米的生长及水分利用的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2005, 33(6): 131-135.
- MENG Y, CAI H J, WANG J, et al. Effect of straw mulching on the growth of summer maize and soil water utilization [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2005, 33(6): 131-135.
- [36] 张冉, 赵鑫, 濮超, 等. 中国农田秸秆还田土壤 N_2O 排放及其影响因素的 Meta 分析 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31(22): 1-6.
- ZHANG R, ZHAO X, PU C, et al. Meta-analysis on effects of residue retention on soil N_2O emissions and influence factors in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(22): 1-6.
- (责任编辑: 李小平)
-
- (上接第 32 页)
- [30] 徐佳星, 封涌涛, 叶玉莲, 等. 地膜覆盖条件下黄土高原玉米产量及水分利用效应分析 [J]. *中国农业科学*, 2020, 53(12): 2349-2359.
- XU J X, FENG Y T, YE Y L, et al. Effects of plastic film mulching on yield and water use of maize in the Loess Plateau [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(12): 2349-2359.
- [31] LI W W, WEN X X, HAN J, et al. Optimum ridge-to-furrow ratio in ridge-furrow mulching systems for improving water conservation in maize (*Zea mays* L.) production [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24(29): 23168-23179.
- [32] 于亚军, 张浩, 张子豪, 等. 渭北旱塬不同覆膜农田土壤微生物群落和酶活性的差异 [J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(11): 2578-2586.
- YU Y J, ZHANG H, ZHANG Z H, et al. Effects of different plastic film mulching treatments on soil microbial communities and enzyme activities in the Weibei drylands of the Loess Plateau [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(11): 2578-2586.
- [33] DENG J, CHONG Y J, ZHANG D, et al. Temporal variations in soil enzyme activities and responses to land-use change in the Loess Plateau, China [J]. *Applied Sciences*, 2019, 9(15): 3129.
- [34] 要凯, 赵章平, 康益晨, 等. 沟垄覆膜对连作马铃薯土壤酶活性、理化性状及产量的影响 [J]. *作物学报*, 2019, 45(8): 1286-1292.
- YAO K, ZHAO Z P, KANG Y C, et al. Effects of ridge-furrow mulching on soil enzyme activity, physicochemical properties and yield in continuous cropping potato field [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(8): 1286-1292.
- [35] 朱利霞, 岳善超, 沈玉芳, 等. 施氮和覆膜对旱作春玉米农田土壤微生物量和土壤酶活性的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(1): 130-136.
- ZHU L X, YUE S C, SHEN Y F, et al. Effects of nitrogen fertilization and film mulching on soil microbial biomass and enzyme activity of spring maize in semi-arid cropland [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2019, 37(1): 130-136.
- [36] 胡庆兰, 杨凯, 王金贵, 等. 地膜覆盖及不同施肥处理对玉米产量和根际土壤酶活性的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(21): 122-126.
- HU Q L, YANG K, WANG J G, et al. Effects of plastic film mulching and different fertilization treatment on maize yield and enzyme activity in rhizosphere soil [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(21): 122-126.
- (责任编辑: 李小平)