



草浆地膜覆盖对大豆苗期生长状况的影响

赵敦厚¹, 关法春², 张大勇¹, 张 伟³, 解 娇², 崔彦如², 梁丽丽², 孙宝学⁴

(1. 东北农业大学 农学院, 黑龙江 哈尔滨 150036; 2. 吉林省农业科学院 农村能源与生态研究所, 吉林 长春 130033; 3. 吉林省农业科学院 大豆研究所, 吉林 长春 130033; 4. 长春德胜宝农业有限公司, 吉林 长春 130200)

摘 要:为了明确草浆地膜覆盖在苗期大豆上的应用效果,采用对比方法,研究草浆地膜覆盖技术对土壤状况、植株与杂草长势等方面的影响。结果表明:与对照相比,草浆地膜处理减少了水分散失,地膜表面湿度下降 9.31 百分点,从而减少了水分蒸发,土壤含水量提高 19.09 百分点,但是对土壤温度影响不大;草浆地膜处理大豆出苗率和出苗势均降低 12.50 百分点,但株高和茎粗分别提高 0.47 cm 和 0.11 mm,同时草浆地膜处理植株后叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性和丙二醛(MDA)含量等出现不同变化,叶片 SPAD 值和叶面积分别提高 1.58 和 10.99 cm²;此外,草浆地膜处理的杂草种类、密度、盖度和生物量均低于对照,其中蒺藜草、灰绿藜 2 种杂草的密度和盖度指标处理间差异显著,草浆地膜处理的总密度和总盖度显著低于对照。因此,草浆地膜虽然不能提高土壤温度,但由于其具有良好的土壤保水效果,能够促进大豆苗期植株的生长,并可减少杂草滋生,具有较大的生产推广潜力。

关键词:草浆地膜;大豆;苗期;水分;杂草;植株生长

Effect of Straw Pulp Mulching Film on Plant Growth of Soybean at Seedling Stage

ZHAO Dun-hou¹, GUAN Fa-chun², ZHANG Da-yong¹, ZHANG Wei³, XIE Jiao², CUI Yan-ru², LIANG Li-li², SUN Bao-xue⁴

(1. College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150036, China; 2. Institute of Rural Energy and Ecology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China; 3. Soybean Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China; 4. Changchun Deshengbao Agriculture Co., Ltd, Changchun 130200, China)

Abstract: In order to make clear the application effect of straw-pulp film covering on soybean seedlings, we used the comparative method to clarify the application effect of straw pulp mulching on the aspects of soil condition, plant and weed growth for soybean at seedling stage in the study. The results showed that compared with the CK, the straw pulp mulching treatment reduced water loss, the surface humidity of mulching film decreased by 5.06%, thus the water evaporation was reduced and the soil water content was increased by 2.92%, but there was little effect on soil temperature. The emergence rate and emergence potential of soybean treated with straw pulp mulching film decreased by 11.11%, but the plant height and stem diameter increased by 0.47 cm and 0.11 mm respectively. At the same time, the superoxide dismutase (SOD) activity, peroxidase (POD) activity and malondialdehyde (MDA) content in leaves of soybean treated with straw pulp mulching film changed differently, and the chlorophyll SPAD value and leaf area increased by 1.58 and 10.99 cm² respectively. In addition, the species, density, coverage and biomass of weeds treated with straw pulp mulching were lower than those of the control. There were significant differences in the density and coverage indexes of *Cenchrus echinatus* and *Chenopodium glaucum*, and the total density and coverage of straw pulp mulching were significantly lower than those of the control. Therefore, although straw pulp mulching film can not improve soil temperature, it can promote the growth of soybean seedlings and reduce the breeding of weeds because of its good soil water retention effect, so it has great promotion potential in soybean production.

Keywords: straw pulp mulching film; soybean; seedling stage; water content; weed; plant growth

20 世纪 50 年代,日本与欧美等发达国家首次将农用地膜技术应用于农业生产领域^[1]。由于农用地膜具有保持土壤湿度,调节土壤温度及限制杂草生长等优点^[2-3],在世界范围内得到推广并广泛使用。中国作为农业大国,自引进技术至今,农用地膜已经成为继化肥和农药之后的第三大生产材料。在农业生产里,由于投入产出比等原因,大豆

生产中塑料地膜使用较为有限,而且存在对雨水阻隔的不利作用,为此渗水地膜应用到大豆覆膜生产上受到一定的关注,研究结果也证实,覆盖半降解渗水地膜对陕北春大豆生长发育促进作用和产量提升的作用优于普通地膜^[4],但由于随着塑料地膜使用量的日益增加,即便是可降解地膜,其残留在土壤中的碎片化或颗粒化地膜,也公认为会导致环

收稿日期:2021-08-09

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD1000905);吉林省科技厅项目(20200602054ZP,20200702010NC)。

第一作者:赵敦厚(1998—),男,硕士研究生,主要从事大豆栽培研究。E-mail:zhaodunhou98@163.com。

通讯作者:关法春(1976—),男,博士,副研究员,主要从事微生物资源利用研究。E-mail:gfc1940@163.com;

张大勇(1976—),男,博士,教授,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:dongnongzhangdy@163.com。

境污染和土壤退化。因此,塑料地膜的环保可降解替代地膜成为了研究的热点。

目前新型的地膜覆盖材料主要有液态地膜^[5]、植物纤维地膜^[6]和生物降解地膜^[7]等,以上种类的地膜虽然具有一定的保温保水性能,但是一般强度较差,性能无法满足需要,且成本造价太高,不适用于农业生产,一般主要用于研究领域^[8-9]。为此,关法春^[10]发明了草浆地膜,是以各种农作物秸秆为原料,经过粉碎、微生物发酵水解后的产物喷涂于地表形成的草浆地膜,强度较高,能够有效保持土壤水分,促进地上植物的生长,同时完全降解后能够增加土壤肥力,还可以有效避免塑料地膜残留所造成的环境污染,为构建环境友好型的农田保水技术带来新的契机。研究发现西藏青稞农田覆盖的草浆地膜,能够在土壤表面形成一层物理草浆层而抑制土壤水分的蒸发,对土壤含水量提升效果显著^[10]。王军峰等^[11]研究也发现,草浆地膜覆盖能够保持土壤水分,并且对豌豆植株的生长有明显的促进作用,但目前尚未见在大豆作物上有关于草浆地膜应用的报道。

本研究通过草浆地膜对土壤水分和作物生长发育的影响进行,以期明确草浆地膜覆盖对土壤和作物的影响机理为研究与可降解地膜配套的栽培技术提供理论依据,同时也为草浆地膜进一步改进提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点位于吉林省白城市镇赉县嘎什根乡白沙滩灌区重点试验站(46°15'7"N,123°39'41"E),为内蒙古、黑龙江、吉林三省区交界处。海拔约 113 m,属温带大陆性季风气候,四季分明,年平均气温 4.9℃,年平均降水量 402 mm,年平均无霜期 152 d,试验点开阔、无遮荫,光照、通风条件良好,农田土壤为轻度盐碱土,pH7.5~8.2。

1.2 材料

供试大豆品种为绥农 26。

喷涂地膜所用的草浆由吉林省农业科学院农村能源与生态研究所提供。原料主要来源为玉米秸秆,秸秆经粉碎成 3~5 cm,并加入少量一定配比的多种辅料经微生物发酵后,使用筛网孔径 30 目的匀浆粉碎机制成发酵秸秆颗粒组成的粘稠浆体,为便于草浆地膜流体浆体在土壤表面施用,浆体含水量控制为 85%^[10]。

1.3 试验设计

于 2021 年 5 月 6 日以盆栽方式种植大豆,盆直

径 20 cm,高度 30 cm,设置草浆地膜覆盖处理(CJ)和不覆膜的对照处理(CK),CJ 处理在播种 2 d 后将草浆浆体使用塑料刮板(宽度 3.0 cm),人工等量涂抹在每个花盆土壤表面并刮平,涂膜过厚种子无法出苗,控制涂膜厚度 ≤ 0.2 cm,并根据每盆草浆浆体的含水量,浇施等量的水于对照花盆内^[10-11]。CJ 和 CK 处理均为 3 次重复,每个重复 10 盆,每盆播种 5 粒种子。播种前施入磷酸二铵 50 kg·hm⁻²、尿素 80 kg·hm⁻²作为底肥,在出苗后 2 瓣真叶展平的时候间苗,每盆保留长势相近的 2 株大豆幼苗。

1.4 测定项目及方法

6 月 4—24 日,每 5 d 使用 TP198 型温度计(浙江米特尔公司),分别测定地表 0 cm 和地下 5、10 cm 深度的土壤温度,使用 HTC-1 湿度计(浙江米特尔公司)测定土壤表面相对湿度,用直径 3 cm 的土钻取 5 cm 深度的土壤样品,采用烘干法测定土壤含水量。

在大豆开始出苗时记录出苗数量,每天观测 1 次,直到大豆出苗期结束不再有新苗长出。观察并统计 15 d 大豆出苗率和 7 d 大豆出苗势;采用直接测量法,用精度 1 mm 米尺和精度 0.02 mm 游标卡尺对株高(植株基部至顶端)和茎粗进行测量,6 月 3—23 日,每 5 d 测定一次。

6 月 24 日采用数字图像法^[12]测定整株叶面积,使用手持式叶绿素测定仪(SPAD-502)测定功能叶片 SPAD 值;叶片采集后放入装有冰袋的泡沫箱,采用氮蓝四唑法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量^[13]。

记录每盆杂草的种类和株数,并将杂草整齐地面剪下装入信封,105℃杀青 30 min,80℃烘干至恒重,计算杂草频度、盖度和地上生物量。

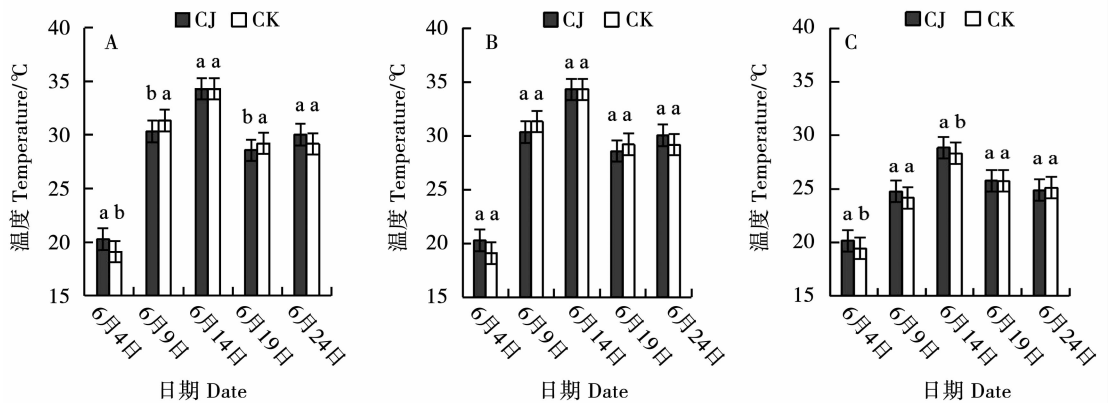
1.5 数据分析

采用 Excel 2003 对不同指标的数据进行统计分析,采用 SPSS 22.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 草浆地膜覆盖对土壤温度、湿度和含水量的影响

2.1.1 土壤温度 如图 1 所示,CJ 和 CK 处理在 0 cm 土层深度的平均温度分别为 28.70 和 28.62℃,在 5 cm 土层深度分别为 26.51 和 26.61℃,在 10 cm 土层深度分别为 24.89 和 24.55℃。CJ 与 CK 处理在 0、5 和 10 cm 土层深度的平均温差分别为 0.08、-0.10 和 0.34℃。从整体来看,CJ 和 CK 处理温度交替变化,且两者之间温差极小,说明草浆地膜对于土壤温度的变化无明显影响。



注:A. 0 cm 土层;B. 5 cm 土层;C. 10 cm 土层。不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: A. Soil on 0 cm depth; B. Soil on 5 cm depth; C. Soil on 10 cm depth. Different lowercase indicate significant differences ($P < 0.05$) between treatments. The same below.

图1 草浆地膜覆盖对不同土层温度的影响

Fig. 1 The effect of straw pulp mulching film on soil temperature in different soil layers

2.1.2 土壤表面湿度和含水量 土壤表面相对湿度的变化可以在一定程度上反映土壤水分向地表散失的程度,从而直接影响土壤水分含量。不同处理下土壤表面相对湿度测定结果显示:CJ 和 CK 处理土壤表面的平均湿度为 49.27% 和 54.33%, CJ 比CK 处理的平均湿度降低了 9.31 百分点。除 6 月 4 日外,其他时间的测定结果 CJ 均高于 CK 处理,且显著差异($P < 0.05$) (图 2)。经测定,CJ 处理的土壤含水量为 14.67%,CK 处理的土壤含水量为 11.75%。CJ 比 CK 处理的含水量提高了 19.09 百分点,两者之间差异显著($P < 0.05$)。综合分析土壤表面湿度和含水量分析表明,草浆地膜能够很好地限制水分蒸发,有较好的保水效果。

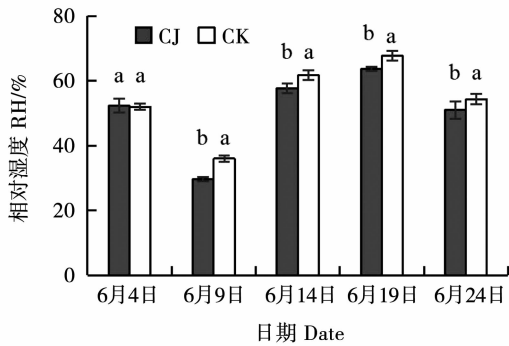


图2 草浆地膜覆盖对土壤表面相对湿度的影响

Fig.2 The effect of straw pulp mulching film on relative humidity of soil surface

2.2 草浆地膜覆盖对出苗率和出苗势的影响

出苗率和出苗势能够反映草浆地膜对大豆植株出苗的影响程度。如表 1 所示,CJ 处理的出苗

率为 77.78%,CK 处理的出苗率为 88.89%。与 CK 处理相比,CJ 处理的出苗率降低了 11.11 百分点,但 CJ 与 CK 处理之间差异不显著($P > 0.05$)。CJ 处理的出苗势为 66.67%,CK 处理的出苗势为 77.78%。与 CK 处理相比,CJ 处理的出苗势下降了 12.50 百分点,但 CJ 与 CK 处理之间差异不显著($P > 0.05$)。结果说明草浆地膜覆盖降低了大豆的出苗率和出苗势,但与对照相比没有明显差异性。

表1 草浆地膜覆盖对出苗率和出苗势的影响

Table 1 The effect of straw pulp mulching film on emergence rate and potential

处理 Treatment	出苗率 Emergence rate/%	出苗势 Emergence potential/%
CJ	77.78 ± 18.56 a	66.67 ± 17.32 a
CK	88.89 ± 10.54 a	77.78 ± 18.56 a

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase indicate significant difference ($P < 0.05$) between treatments. The same below.

2.3 草浆地膜覆盖对株高和茎粗的影响

CJ 和 CK 处理的平均株高分别为 8.93 和 8.46 cm,CJ 比 CK 处理提高 0.47 cm,但处理间差异不显著($P > 0.05$)。CJ 和 CK 处理的茎粗为 4.47 和 4.36 mm,CJ 比 CK 处理增加 0.11 mm,处理间差异亦不显著($P > 0.05$) (图 3 和图 4)。结果说明草浆地膜覆盖对大豆苗期株高和茎粗的影响不大。

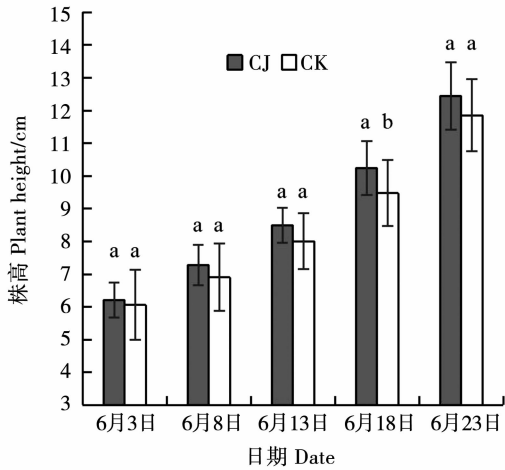


图3 草浆地膜覆盖对株高的影响
Fig.3 The effect of straw pulp mulching film on plant height

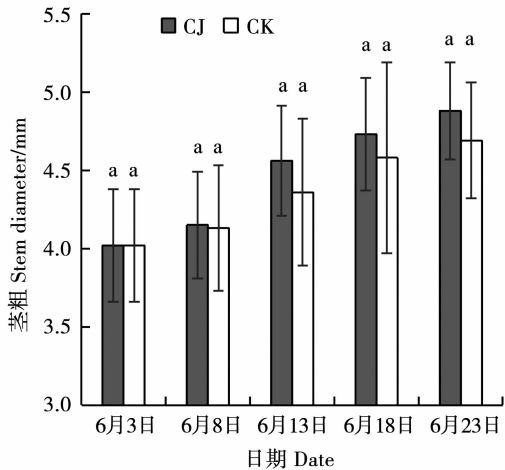


图4 草浆地膜覆盖对茎粗的影响
Fig.4 The effect of straw pulp mulching film on plant stem diameter

2.4 草浆地膜覆盖对叶面积和 SPAD 值的影响

叶面积是与蒸腾速率和光合速率关系最密切的指标,与作物产量息息相关。如表 2 所示,CJ 与 CK 处理的叶面积数值分别为 115.96 和 104.97 cm²。CJ 比 CK 处理的叶面积提高了 10.99 cm²,且 CJ 与 CK 处理之间差异显著($P < 0.05$)。

叶绿素含量是影响作物进行光合作用的主要因素。如表 2 所示,CJ 与 CK 处理的 SPAD 值分别为 48.41 和 46.83。CJ 处理的 SPAD 值比 CK 处理提高了 1.58,且 CJ 与 CK 处理差异显著($P < 0.05$)。结果表明,草浆地膜能够提高大豆的叶面积和叶绿素含量。

表 2 草浆地膜覆盖对叶面积和 SPAD 值
Table 2 The effect of straw pulp mulching film on leaf area and SPAD value

处理 Treatment	叶面积 Leaf area/cm ²	SPAD 值 SPAD value
CJ	115.96 ± 10.32 a	48.41 ± 2.39 a
CK	104.97 ± 12.73 b	46.83 ± 3.00 b

2.5 草浆地膜覆盖对 POD 和 SOD 活性及 MDA 含量的影响

由表 3 可知,CJ 和 CK 处理的 POD 酶活性分别为 120.00 和 127.00 U·g⁻¹·min⁻¹。与 CK 处理相比,CJ 处理 POD 酶活性降低了 7.0 U·g⁻¹·min⁻¹,差异不显著($P > 0.05$)。CJ 和 CK 处理的 SOD 酶活性分别为 567.50 和 503.01 U·g⁻¹。CJ 比 CK 处理 SOD 酶活性提高了 64.49 U·g⁻¹,差异不显著($P > 0.05$)。CJ 和 CK 处理的 MDA 含量分别为 30.25 和 24.55 nmol·g⁻¹。CJ 比 CK 处理提高了 5.7 nmol·g⁻¹,差异不显著($P > 0.05$)。结果说明草浆地膜覆盖对大豆的 POD 和 SOD 活性及 MDA 含量无明显影响。

表 3 草浆地膜覆盖对 POD 和 SOD 活性和 MDA 含量的影响
Table 3 The effect of straw pulp mulching film on POD and SOD activity and MDA content

处理 Treatment	POD 活性 POD activity/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	SOD 活性 SOD activity/(U·g ⁻¹)	MDA 含量 MDA content/(nmol·g ⁻¹)
CJ	120.00 ± 23.64 a	567.50 ± 47.05 a	30.25 ± 20.77 a
CK	127.00 ± 14.42 a	503.01 ± 65.00 a	24.55 ± 9.38 a

2.6 草浆地膜覆盖对杂草群落特征的影响

密度和盖度体现了植物群落的水平结构特征,即各植物种群对水平空间的占有比例。供试所有样方内的杂草种类共计 5 种,其中 CJ 处理出现蒺藜草、灰绿藜、蒺藜、粘蓼共 4 种,CK 处理出现蒺藜草、灰绿藜、蒺藜、粘蓼、北美苋共 5 种;CJ 处理中的蒺藜草和灰绿藜的密度显著低于 CK ($P < 0.05$)。CJ 处理的总密度为 898.34 株·m⁻²,CK 是 CJ 处理的

1.59 倍,且差异显著($P < 0.05$);CJ 处理中的蒺藜草和灰绿藜的盖度显著低于 CK ($P < 0.05$)。CJ 处理的总盖度为 23.52%,比 CK 处理低 14.07%,且差异显著($P < 0.05$);CJ 处理的地上生物量为 82.19 g·m⁻²,低于 CK 处理的 95.46 g·m⁻²,但差异不显著($P > 0.05$)(表 4)。结果说明草浆地膜覆盖使大豆田杂草种类、密度、盖度和生物量降低。

表 4 草浆地膜覆盖对杂草的种类、密度和地上生物量的影响

Table 4 The effect of straw pulp mulching film on species, density and aboveground biomass of weeds

种类 Species	密度		盖度		地上生物量	
	Density/(株·m ⁻²)		Coverage/%		Aboveground biomass/(g·m ⁻²)	
	CJ	CK	CJ	CK	CJ	CK
蒺藜草 <i>Cenchrus echinatus</i>	473.93 ± 66.48 *	785.16 ± 149.30	12.41 ± 1.74 *	20.55 ± 3.91	68.79 ± 17.67	73.18 ± 19.11
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	44.56 ± 17.43 *	120.25 ± 91.12	1.17 ± 0.46 *	3.15 ± 2.39	2.37 ± 3.76	8.1 ± 8.45
蒺藜 <i>Polygonum aviculare</i>	343.07 ± 72.54	343.07 ± 101.63	8.98 ± 1.90	8.98 ± 2.66	9.34 ± 2.34	8.70 ± 3.07
粘蓼 <i>Polygonum viscoferum</i>	72.75 ± 30.28	155.62 ± 117.44	1.91 ± 0.79	4.08 ± 3.07	2.68 ± 1.40	3.75 ± 3.42
北美苋 <i>Amaranthus blitoides</i>	—	71.62 ± 40.05	—	1.88 ± 1.05	—	3.90 ± 4.14
合计 Total	898.34 ± 100.38 *	1435.92 ± 185.23	23.52 ± 2.63 *	37.59 ± 4.85	82.19 ± 19.95	95.46 ± 9.90

注:—表示杂草在该区域未出现; * 表示在 $P < 0.05$ 水平差异有统计学意义。

Note:— indicates that weeds did not appear in this area; * indicates that the difference is statistically significant at the level of $P < 0.05$.

3 讨论

草浆地膜覆盖于地表,其粘结颗粒层能够起到了水气物理阻隔的作用,避免水汽通过土壤向空气中扩散,从而减少了水分的散失。本研究从不同时期不同深度的土壤温度来看,覆膜与不覆膜的土壤温度出现交替变化,温差很小,且覆膜后没有明显提升,说明草浆地膜对于土壤温度影响不大。但草浆地膜覆盖后的土壤表面湿度降低,推测是因为草浆地膜的阻碍,减少水分向地表蒸发,因此土壤含水量明显高于对照,土壤水分条件的改变影响到地上部植株的生长^[14],草浆地膜覆盖使得植株叶面积明显提高,株高、茎粗表现也优于对照,这与以往结果比较一致^[10-11,15]。但在本研究中,由于大豆种子需要顶土萌发,而草浆地膜层的阻隔作用延缓了大豆种子的顶土出苗,导致草浆地膜覆盖下的出苗率和出苗势出现一定程度的降低,生产上可能需要适当加大 8% ~ 10% 播种量来保证单位面积保苗数。

良好的土壤水分条件会影响作物的生长代谢进程,促进干物质的积累。本研究草浆地膜处理能够明显提高叶片叶绿素含量,但能够清除活性氧自由基(ROS)并抵抗逆境的 SOD 和 POD 酶活性、以及反应组织或器官膜脂质受损程度^[16-17]的 MDA 含量等指标变化并不明显,说明草浆地膜覆盖对苗期植物生理生化反应的影响不大,可能与草浆地膜覆盖时间短、保水作用产生的生理效应尚未充分体现有关。此外,草浆地膜处理草浆层在阻碍水分蒸发、影响大豆出苗的同时,也使得杂草群落结构特征发生改变,表现为杂草种类、密度、盖度和生物量均低于对照,尤其是密度和盖度显著低于对照,说

明草浆地膜能够明显抑制杂草的滋生,从而有利于杂草与大豆苗期植株的水肥竞争作用。

因此,草浆地膜的保水效果虽然已经明确,但其对苗期大豆植株生长的影响仅有一定的促进作用,生理代谢指标处理间差异也不大,尚未显著影响到苗期大豆的生长,具体影响还需要持续观察进一步研究后明确。不过结合草浆地膜覆盖对杂草的抑制效果,以及草浆地膜的环保性和低成本优势,草浆地膜具有较大的生产应用潜力。

4 结论

草浆地膜可以减少大豆田水分散失,使地膜表面湿度下降,从而提高土壤含水量,但是对土壤温度影响不大。草浆地膜处理后大豆出苗率和出苗势均降低 12.50 百分点,但株高和茎粗分别提高 0.47 cm 和 0.11 mm,同时草浆地膜处理植株叶片 SOD 和 POD 活性及 MDA 含量出现不同变化,叶片 SPAD 值和叶面积分别提高 1.58 和 10.99 cm²。草浆地膜处理的总杂草种类、密度、盖度和生物量均低于对照,其中蒺藜草、灰绿藜两种杂草的密度和盖度指标处理间差异显著,草浆地膜处理的总密度和总盖度显著低于对照。因此,草浆地膜具有良好的土壤保水效果,能够促进大豆苗期植株的生长,并减少杂草的滋生,具有较大的生产推广潜力。

参考文献

[1] 邹小阳,牛文全,刘晶晶,等. 残膜对土壤和作物的潜在风险研究进展[J]. 灌溉排水学报,2017,36(7): 47-54. (ZOU X Y, NIU W Q, LIU J J, et al. Potential risks of plastic film residuals on soils and crops: A review[J]. Journal of Irrigation and Drainage,2017,36(7): 47-54.)

[2] KADER M A, SENGE M, MOJID M A, et al. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment [J]. Soil and Tillage Research, 2017, 168: 155-166.

[3] MARTIN-CLOSAS L, COSTA J, PELACHO A M. Agronomic effects of biodegradable films on crop and field environment [M]. Springer; Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture, 2017: 67-104.

[4] 梁福琴, 张明君, 张强, 等. 覆盖降解渗水地膜对陕北春大豆生长发育和产量的影响 [J]. 大豆科学, 2018, 37(5): 723-729. (LIANG F Q, ZHANG M J, ZHANG Q, et al. Effect of soil surface covered by degradable water-permeability film on growth and yield of spring soybean in northern Shaanxi Province [J]. Soybean Science, 2018, 37(5): 723-729.)

[5] 贾璇, 傅晨星, 张军平, 等. 可降解液体地膜的研究现状及应用展望 [J]. 中国塑料, 2020, 34(12): 110-118. (JIA X, FU C X, ZHANG J P, et al. Research status and application prospect of degradable liquid mulching films [J]. China Plastics, 2020, 34(12): 110-118.)

[6] 李辉, 赵传山, 姜亦飞, 等. 可降解植物纤维农用地膜纸的制备与性能 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48(6): 189-194. (LI H, ZHAO C S, JIANG Y F, et al. Preparation and properties of degradable plant fiber agricultural film paper [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(6): 189-194.)

[7] 金璟, 路遥. 农业生物降解地膜的需求影响因素研究 [J]. 生态经济, 2021, 37(7): 111-116. (JIN J, LU Y. Analysis on the impact factor of demands to agricultural biological degradable mulch film [J]. Ecological Economy, 2021, 37(7): 111-116.)

[8] SCARASCIA-MUGNOZZA G, SCHETTINI E, VOX G. Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment [J]. Polymer Degradation and Stability, 2006, 91: 2801-2808.

[9] 师岩, 李凤红, 姜天赐, 等. 可生物降解膜材料的研究进展 [J]. 化工新型材料, 2020, 48(5): 16-25. (SHI Y, LI F H, JIANG T C, et al. Research progress on biodegradable film material [J]. New Chemical Materials, 2020, 48(5): 16-25.)

[10] 关法春. 西藏青稞农田草浆地膜覆盖的保水效果研究 [J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(2): 385-389. (GUAN F C. Influence of straw pulp film mulching on water conservation effect of *hordeum vulgare* farmland in Tibet [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(2): 385-389.)

[11] 王军峰, 张宇阳, 关法春, 等. 草浆地膜覆盖对土壤水热状况及豌豆生长的影响 [J]. 北方园艺, 2014(17): 172-175. (WANG J F, ZHANG Y Y, GUAN F C, et al. Influence of straw pulp film mulching on hydrothermal conditions of soil and growth of pea [J]. Northern Horticulture, 2014(17): 172-175.)

[12] 兰小中, 王超, 关法春, 等. 波棱瓜叶面积数学图像测定方法的研究 [J]. 西南农业学报, 2011, 24(3): 1222-1224. (LAN X Z, WANG C, GUAN F C, et al. Digital image method for measurement of *Herpetospermum pedunculosum* leaf area [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(3): 1222-1224.)

[13] 张明聪, 何松榆, 秦彬, 等. 外源褪黑素缓解干旱胁迫对春大豆苗期影响的生理调控效应 [J]. 大豆科学, 2020, 39(5): 742-750. (ZHANG M C, HE S Y, QIN B, et al. The physiological regulation effect of exogenous melatonin relieving drought stress at seedling stage of spring soybean [J]. Soybean Science, 2020, 39(5): 742-750.)

[14] 司雷勇, 夏镇卿, 金岩, 等. 覆盖方式对旱地春玉米根冠生长及水分利用效率的影响 [J]. 作物杂志, 2020(1): 146-153. (SI L Y, XIA Z Q, JIN Y, et al. Impacts of different mulching patterns on root-shoot growth of spring maize and water use efficiency in dry land [J]. Crops, 2020(1): 146-153.)

[15] 李艳, 刘海军, 黄冠华. 麦秸覆盖条件下土壤蒸发阻力及蒸发模拟 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 98-106. (LI Y, LIU H J, HUANG G H. Modeling resistance of soil evaporation and soil evaporation under straw mulching [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(1): 98-106.)

[16] 李明玉, 曹辰兴, 于喜艳. 低温锻炼对冷胁迫下黄瓜幼苗保护性酶的影响 [J]. 西北农业学报, 2006, 15(1): 160-164. (LI M Y, CAO C X, YU X Y. Effects of low temperature training on protective enzymes of cucumber seedlings under cold stress [J]. Journal of Northwest Agriculture, 2006, 15(1): 160-164.)

[17] SILIN S N, GUY R D, LAVENDER D P. Mefluidide-induced drought resistance in seedlings of three cenifer species [J]. Canadian Journal of Botany, 1993, 71(8): 1087-1092.