

不同材料膜覆盖对地温和花生叶片光合作用的影响

尹光华¹, 佟娜^{1,2}, 郝亮^{1,2}, 谷建¹, 刘作新¹

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用早棚微区试验, 开展了花生平播后不同材料膜覆盖试验。分析得出: 液态生物降解膜覆盖可以明显提高耕层土壤温度, 在开花下针期全天平均提高 0.2℃~1.1℃, 结荚期平均提高 0.1℃~1.7℃, 保温性能较好, 有利于作物前期的生长发育。纤维黑色纸膜覆盖和粉剂黑色降解膜覆盖对地温的影响相似, 保温效果相对较差。聚乙烯膜覆盖地温始终处于较高值, 与液态生物降解膜覆盖相比差异明显, 均明显高于对照。液态生物降解膜与聚乙烯膜覆盖后在饱果成熟期叶片的 P_n 值提高 21% 和 17%, 其 T_r 值分别提高 52% 和 15%, 有利于花生产量的提高。液态生物降解膜适宜于花生覆膜应用。

关键词: 花生; 可降解膜; 地温; 光合速率

中图分类号: S565.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)06-0044-06

干旱缺水是制约中国干旱半干旱区农业生产力的关键因素, 塑料地膜覆盖技术是解决干旱缺水的一项有效措施^[1]。它通过改变土壤与大气界面层状况, 在土壤表面形成一层物理阻隔层, 减缓了土壤与大气层之间的水分交换, 使土壤中水、肥、气、热状况得到改善^[2], 具有保湿、保温、抗虫、防病、抑制杂草等多种功能, 能大幅度提高作物产量, 在农业生产中发挥了极其重要的作用。然而, 聚乙烯塑料地膜的长期应用带来了严重的白色污染^[3]。为了解决白色污染问题, 人们开始研发新型环境友好型材料来替代聚乙烯塑料地膜, 以解决白色污染问题。目前国内外已研发出了不同类型的可降解地膜, 如光降解地膜^[4]、生物降解地膜^[5]、光-生物双降解地膜^[6]、多功能可降解液态地膜^[7-8]等。研究表明, 连续使用可降解地膜, 不会对类似土壤中细菌群落结构的土壤环境产生影响^[9], 且每年净氮矿化量显著高于裸地^[10]。已有的研究多集中于可降解液膜覆盖地表后对土壤水分和作物产量的影响, 而在可降解膜的另一个重要作用——对地表温度的影响研究较少。本研究利用早棚微区试验, 研究不同材料膜覆盖于地表后, 对耕层地温和作物叶片光合作用的影响, 探究可降解膜覆盖的增产机理, 为其开发应用提供理论依据。

1 试验设计与方法

1.1 试验地概况

试验于 2011 年 3—11 月在辽宁省阜新蒙古族自治县进行。该县年均气温 7.1℃~7.6℃, 降水量

480 mm, 蒸发量 1 770 mm, 降水量年内分配不均, 夏季占 68.5%, 三旱(春、伏、秋)频繁, 春旱严重。作物生育期平均气温 20.2℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温日数为 169 d, 有效积温 3 298.3℃, 无霜期 144 d, 生理辐射量 284.3 kJ/cm², 生育期日照时数 1 295.8 h(占全年日照时数的 45.2%)^[11]。

1.2 试验设计

设早棚水分控制微区试验, 早棚在晴天时保持敞开, 雨天时遮盖顶棚和四周, 防止降水进入。微区面积为 120 cm × 100 cm, 深 80 cm, 四周用高分子树脂材料包裹相隔, 防止水分侧渗。土壤类型为褐土, 质地为砂壤土。供试作物为花生, 品种为 1016, 种植方式为平作, 微区种植两行, 行距 50 cm, 每行 10 穴, 每穴 2 株。地表覆盖材料分别为液态生物降解膜、粉剂黑色降解膜、普通聚乙烯膜、纤维黑色纸膜, 以露地种植为对照, 共 5 个处理, 4 次重复, 随机区组排列, 覆盖方式为全面覆盖。处理设置见表 1。具体操作过程: 液态生物降解膜经兑水稀释, 用电动喷雾器喷洒于地面; 粉剂降解膜兑水溶解稀释, 搅拌均匀后喷洒于地面; 液态生物降解膜与粉剂降解膜渗水性较好, 喷施地表后不会影响水分下渗。普通聚乙烯膜和纤维纸膜采用平铺方法覆盖于地表, 试验开展期间灌溉水通过土钻孔覆土处下渗到土壤中。早棚水分控制微区试验除控制水分条件外, 其他条件与大田一致。

1.3 测定项目与方法

耕层地温测定: 采用直角管地温计分别测定苗期至结荚期 5、10、15、20、25 cm 土层地温, 每组地温

收稿日期: 2012-05-30

基金项目: 国家“十二五”国家科技计划课题(2012AA101404); 国家“十二五”科技支撑重大课题(2012BAD09B02); 辽宁省重大项目(2008212003)

作者简介: 尹光华(1972—), 男, 甘肃天水人, 副研究员, 博士, 主要从事节水农业方面的研究。E-mail: ygh006@iae.ac.cn。

计有5支,均插在微区花生种植行中间,每隔2天读数,每天读数时间为8:00、14:00和18:00。

表1 不同处理设计表

Table 1 Design of different treatments

处理号 No.	处理代号 Code	处理内容 Treatment
1	Liquid Microbe Degradable Film (简写 LMDF)	液态生物降解膜覆盖 LMDF mulching
2	Powder Degradable Film (简写 PDF)	粉剂黑色降解膜覆盖 PDF mulching
3	Polyethylene Plastic Film (简写 PPF)	普通聚乙烯膜覆盖 PPF mulching
4	Fiber Black Resin Film (简写 FRF)	纤维黑色纸膜覆盖 FRF mulching
5	CK	露地 No mulching

光合指标测定:采用 LI COR - 6400 便携式光合仪,在饱果期晴天的 9:00 ~ 11:30 测量叶片光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、胞内 H₂O 浓度等生理指标。其中,单叶水平 $WUE = Pn/T_r$ [12]。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel、SPSS 16.0 软件进行数据处理和分析,多重比较采用 LSD 法。

2 结果和分析

2.1 不同覆盖对土壤温度的影响

利用观测的地温数据作图 1。分析图 1 可知,不同处理一天中不同时期地温变化是早上 8:00 低,中午 14:00 高,傍晚 18:00 居中。通过计算得知,苗期全天温度变化剧烈,最大温差达 12.6℃,到开花下针期(简称花针期)和结荚期变化逐渐趋于缓和,花针期最大温差达 8.6℃,结荚期为 6.7℃。这与不同时期日照强度密切相关,且随花生生育进程的推进不同处理增温效果逐渐减小。

不同处理苗期 14:00 较 8:00 地温在 5、10 cm 土层升高 9.6℃ ~ 12.6℃(见表 2 及图 1a ~ 图 1d),15 cm 土层升高 6.3℃ ~ 7.6℃(见表 2 及图 1e ~ 图 1f),20、25 cm 土层升高 2.3℃ ~ 4.1℃(见表 2 及图 1g ~ 图 1i),且随土层的加深增温作用减弱。粉剂黑色降解膜覆盖处理与对照在全天的温度相对较低。粉剂黑色降解膜覆盖喷施地表后,在阳光的照射下,本身吸热增温较快,但热量不易向下层土壤传导 [13],主要由于粉剂黑色降解膜含有固体颗粒,导热率相对较低,增温效果低于液态生物降解膜覆盖(喷施后呈浅黄色)和聚乙烯膜覆盖处理。苗期地温变化剧烈,液态生物降解膜覆盖处理在白天由于透光性好,增

温效果较好,同时晚上阻挡了地面的长波辐射,减少了土壤散失热量,能量释放减缓,有效地阻碍地温的降低 [14]。因此在不同土层的变化较为平缓,有利于作物的生长。总体来看,在不同土层聚乙烯膜覆盖的温度最高,主要可能由于聚乙烯膜透光吸热性能好,保温效果好。8:00、14:00 时 25 cm 土层处聚乙烯膜覆盖与对照差异显著,说明聚乙烯膜覆盖升温较快。聚乙烯膜覆盖与对照比较,18:00 较 14:00 在土层 20、25 cm 处的温度分别升高 0.4℃、0.3℃ 和 0.1℃、0.7℃。这是因为聚乙烯膜覆盖阻碍近地气层的热量交换,蓄积了太阳辐射能量,晚间向下传递,因此聚乙烯膜覆盖温度升高。

分析表 3 和表 4 可知,花针期和结荚期的变化规律与苗期相似。由于此期温度变化趋于缓和,相对于其它处理,在 14:00 和 18:00 的地温变化,液态生物降解膜覆盖处理表现出较好的保温作用,增温快、降温慢。苗期和花针期聚乙烯膜覆盖的地温较高,结荚期逐渐减弱,随着花生生长发育的推进,覆膜的增温作用越来越小。可能与植株叶面积较大,遮蔽作用较其它处理大所致。

液态生物降解地膜覆盖保温性较好,有利于作物生长。聚乙烯膜覆盖则保持地温始终处于较高值,二者间无显著性差异,液态生物降解膜覆盖处理和聚乙烯膜覆盖处理的地温显著高于露地种植(对照)。纤维黑色纸膜覆盖处理的保温效果相对较差,这可能主要与纤维纸膜呈黑色,对地温的影响与粉剂降解地膜覆盖类似,但是粉剂降解膜覆盖处理的苗期地温相对较低。

2.2 不同覆盖土壤温度随时间的变化

如图 1 所示,不同处理地温随时间变化呈现升高或降低的振荡趋势变化,这主要与气温的变化以及灌水等因素有关。花针期(播后 65 d)为转折点,之前变化起伏较大,波动规律相近,振幅约为 6℃ ~ 27℃。此时气温变化大,地温变化较大。花针期后地温变化幅度变小。5、10 cm 深度地温振幅为 2℃ ~ 8℃,15、20、25 cm 深度地温振幅约 3℃。

苗期(播后 35 d 前),不同土层聚乙烯膜覆盖处理地温高于其它处理。苗期是以营养生长为主的发育长根阶段,聚乙烯膜覆盖表现出对苗期明显的保温作用。苗后期液态生物降解地膜覆盖保温效果较好。如图 1 所示,8:00 时 20 cm 土层纤维纸膜覆盖温度显著低于其它处理,表现出与粉剂降解地膜覆盖相似的黑色地膜热量不易向土壤深层传导的特征。

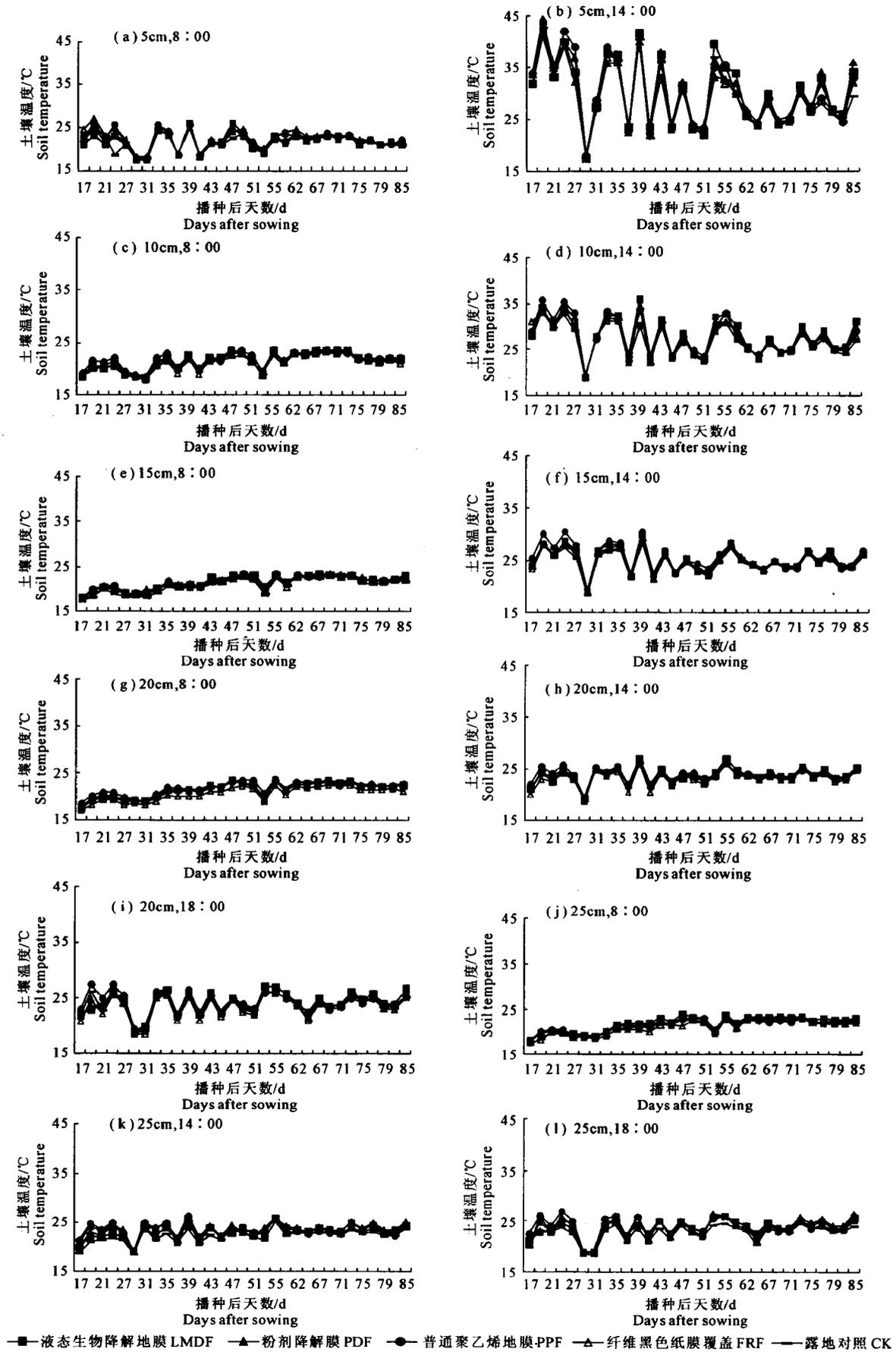


图 1 不同处理土温日变化(5~25 cm)

Fig.1 Daily change of soil temperature among different treatments (5~25 cm)

表2 苗期不同处理对土壤温度的影响

Table 2 Effect of different treatments on surface soil temperature in seedling stage/°C

处理号 No.	代号 Code	8:00					14:00					18:00				
		5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm
1	LMDF	21.03	19.59	19.39	19.13	19.44	33.08	29.48	26.03	23.05	21.81	26.23	25.99	24.49	22.96	22.10
2	PDF	21.63	19.53	19.48	19.26	19.28	32.31	29.38	25.79	22.74	22.84	25.89	25.69	24.41	22.74	22.69
3	PPF	22.40	20.34	19.54	19.90	19.53	34.98	30.59	27.09	23.79	23.23	27.00	27.25	26.11	24.18	23.50
4	FRF	22.70	19.75	19.11	18.44	18.80	34.24	29.79	25.71	22.54	22.60	25.89	25.38	24.41	22.48	22.58
5	CK	21.85	19.28	18.53	19.24	18.73	33.63	28.89	25.28	23.04	21.10	25.46	25.34	24.16	23.15	21.83

注:表中字母 a, b, c, d 表示处理间差异显著性 ($P < 0.05$)。下同。

Note: The lowercase letters a, b, c and d express significant differences between various treatments ($P < 0.05$). They are the same in following.

表3 花针期不同处理对土壤温度的影响

Table 3 Effect of different treatments on surface soil temperature in flowering and pegging stages/°C

处理号 No.	代号 Code	8:00					14:00					18:00				
		5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm
1	LMDF	21.79	21.59	21.76	21.87	22.25	30.38	27.85	24.89	23.69	23.14	25.23	26.05	25.15	24.37	23.85
2	PDF	21.60	21.37	21.61	21.90	21.79	28.77	26.71	24.89	23.40	23.34	24.90	25.39	25.04	23.90	23.94
3	PPF	21.95	21.66	21.67	22.20	21.77	29.56	26.54	25.19	23.71	23.31	25.44	26.07	25.31	24.30	23.86
4	FRF	21.90	21.15	21.33	20.74	20.97	30.06	26.93	24.31	22.99	23.22	24.92	25.02	24.72	23.50	23.48
5	CK	21.50	21.10	20.97	21.76	21.41	29.67	26.78	24.25	23.50	22.24	24.95	25.10	24.41	24.10	22.77

表4 结荚期不同处理对土壤温度的影响

Table 4 Effect of different treatments on surface soil temperature in pod setting stage/°C

处理号 No.	代号 Code	8:00					14:00					18:00				
		5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm
1	LMDF	22.27	22.59	22.62	22.63	23.06	28.99	27.31	25.17	24.30	23.92	25.45	26.16	25.09	24.86	24.35
2	PDF	22.12	22.42	22.67	22.66	22.57	28.35	26.67	25.20	23.99	24.09	25.49	25.89	25.35	24.52	24.52
3	PPF	22.33	22.55	22.52	22.77	22.43	27.90	26.59	24.94	23.96	23.42	25.16	25.46	24.82	24.17	23.77
4	FRF	22.67	22.28	22.36	21.88	22.29	28.47	26.55	24.95	23.76	23.98	25.56	25.40	24.99	24.07	24.21
5	CK	22.22	22.15	22.13	22.85	22.37	27.29	26.02	24.70	24.19	23.12	24.94	25.08	24.40	24.32	23.30

根据每两天测得地温,计算不同处理间差值得出,苗期聚乙烯膜覆盖全年平均比对照地温提高 $0.3^{\circ}\text{C} \sim 2.1^{\circ}\text{C}$,液态生物降解地膜覆盖花针期全年平均比对照地温提高 $0.1^{\circ}\text{C} \sim 1.1^{\circ}\text{C}$,结荚期比对照地温提高 $0.1^{\circ}\text{C} \sim 2.0^{\circ}\text{C}$ 。显著提高了苗期有效积温,利于作物生长发育。

2.3 不同膜材料覆盖处理对花生光合作用的影响

在饱果成熟期测定花生叶片光合生理指标(见表5),与对照相比,液态生物降解膜覆盖、粉剂黑色降解膜、普通聚乙烯膜覆盖处理叶片的 P_n 值分别提高 20.9%、28.0%、16.5%; T_r 值分别提高 52.1%、34.8%、14.6%; G_s 值提高 137.9%、71.0%、73.4%; H_i 值提高 11.6%、6.4%、5.4%。普通聚乙烯膜覆盖的叶片 WUE 值提高 4.2%,而液态生物降

解膜覆盖、粉剂黑色降解膜、纤维黑色纸膜覆盖处理的叶片 WUE 值则分别降低 19.9%、5.2%、4.3%。

3 讨论

粉剂降解膜和纤维黑色纸膜覆盖均属于黑色覆盖,对地温的影响类似,在阳光照射下,本身吸热增温较快,但热量不易向土壤传导,主要由于粉剂黑色降解膜含有固体颗粒,纤维黑色纸膜也是固体,导热率与液态生物降解膜相比,相对较低。因此二者增温效果不如液态生物降解膜和普通聚乙烯膜覆盖。粉剂降解地膜覆盖苗期地温相对较低,苗期的正常生长发育会影响后期的作物产量。这与已有研究报道的液态地膜(棕黑色)覆盖地表明明显提高土壤温度的结果不同^[15]。在本研究中,与对照相比,饱果期

表 5 饱果期不同处理对光合速率影响

Table 5 Effect of different treatments on photosynthetic rate in pod filling stage

代号 Code	光合速率 P_n / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 T_r / ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔导度 G_s / ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 C_i / ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	胞内 H_2O 浓度 H_i / ($\text{nmol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	单叶水平水分利用效率 WUE / ($\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)
LMDF	15.42 ± 1.58cd	9.439 ± 0.69d	0.402 ± 0.74c	201.20 ± 21.74c	32.96 ± 0.34c	1.650 ± 0.58a
PDF	16.32 ± 1.42d	8.363 ± 0.72c	0.289 ± 0.49b	173.15 ± 6.81b	31.42 ± 1.94b	1.952 ± 0.48b
PPF	14.87 ± 1.91c	7.114 ± 1.77b	0.293 ± 0.14b	179.35 ± 20.98b	31.12 ± 1.37b	2.146 ± 0.27c
FRF	11.70 ± 0.17a	6.067 ± 0.88a	0.168 ± 0.31a	153.20 ± 21.50a	29.48 ± 1.18a	1.972 ± 0.32b
CK	12.76 ± 1.88b	6.206 ± 0.63a	0.169 ± 0.27a	145.35 ± 12.28a	29.52 ± 0.53a	2.060 ± 0.25bc

液态生物降解地膜、粉剂降解膜、普通聚乙烯膜覆盖处理叶片的 P_n 、 T_r 、 G_s 、 C_i 、 H_i 值均较高,纤维黑色纸膜覆盖处理的值均较低,普通聚乙烯膜覆盖的叶片 WUE 值高于对照。这与已有研究结果,即适量液体地膜育苗棉花使其叶面积大,叶片光化学特性得到改善等结论相似^[16]。

4 结 论

1) 液态生物降解膜覆盖可以明显提高耕层土壤温度,在花针期全天平均提高 $0.2^\circ\text{C} \sim 1.1^\circ\text{C}$,结荚期平均提高 $0.1^\circ\text{C} \sim 1.7^\circ\text{C}$,保温性能较好,有利于作物前期的生长发育。普通聚乙烯膜覆盖地温的增温效果最好,与液态生物降解膜覆盖相比差异明显,均明显高于对照。

2) 纤维黑色纸膜覆盖和粉剂黑色降解膜覆盖对地温的影响相似,保温效果相对较差,不利于作物前期的生长发育。

3) 与对照相比较,液态生物降解膜与普通聚乙烯膜覆盖后在饱果成熟期叶片的 P_n 值分别提高 21% 和 17%; T_r 值提高 52% 和 15%,普通聚乙烯膜覆盖的 WUE 值提高 4%,而液态生物降解膜、粉剂黑色降解膜、纤维黑色纸膜覆盖处理的叶片 WUE 值则分别降低 19.9%、5.2%、4.3%。

参 考 文 献:

- [1] 王鑫,胥国斌,任志刚,等.无公害可降解地膜对玉米生长及土壤环境的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(1):78-81.
- [2] 张德奇,廖允成,贾志宽.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-213.
- [3] Roy P, Surekha P, Rajagopal C. Surface oxidation of low-density polyethylene films to improve their susceptibility toward environmental degradation[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011,122:2765-2773.
- [4] Islam N Z M, Othman N, Ahmad Z, et al. Effect of pro-degradant additive on photo-oxidative aging of polypropylene film [J]. Sains Malaysiana, 2011,40(7):803-808.
- [5] Briassoulis D, Dejean C. Critical review of norms and standards for biodegradable agricultural plastics part I. Biodegradation in soil[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2010,18(3):384-400.
- [6] Copinet A, Bertrand C, Longieras A, et al. Photodegradation and biodegradation study of a starch and poly(lactic acid) coextruded material[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2003,11(4):169-179.
- [7] Warnick J P, Chase C A, Rosskopf E N, et al. Weed suppression with hydramulch, a biodegradable liquid paper mulch in development [J]. Renewable Agriculture and Food Systems, 2006,21(4):216-223.
- [8] 张杰,任小龙,罗诗峰,等.环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(6):14-19.
- [9] Masui A, Ikawa S, Fujiwara N, et al. Influence for soil environment by continuing use of biodegradable plastic[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2011,19(3):622-627.
- [10] Fang Shengzuo, Xie Baodong, Liu Dong, et al. Effects of mulching materials on nitrogen mineralization, nitrogen availability and poplar growth on degraded agricultural soil[J]. New Forests, 2011,41(2):147-162.
- [11] 侯玉虹,尹光华,刘作新,等.土壤底墒与苗期灌溉量对玉米出苗和苗期生长发育的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(4):51-57.
- [12] 刘贤赵,康绍忠.遮荫对番茄单叶水分利用效率的影响研究[J].中国农业生态学报,2003,11(1):23-26.
- [13] 郝四平.覆盖黑色地膜对花生生长发育及产量的效应研究[D].郑州:河南农业大学,2004.
- [14] 陈素英,张喜英,裴冬,等.玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J].农业工程学报,2005,21(10):171-173.
- [15] 黄占斌,辛小桂,李友乾,等.液态地膜和植生带对土壤水温和玉米成苗的影响[J].水土保持通报,2004,24(1):43-45.
- [16] 杨青华,韩锦峰,贺德先.液体地膜育苗对棉花生育与产量的影响研究[J].棉花学报,2004,16(4):216-222.

Effects of mulching with film of different materials on soil temperature and photosynthesis of peanut leaf

YIN Guang-Hua¹, TONG Na^{1,2}, HAO Liang^{1,2}, GU Jian¹, LIU Zuo-xin¹

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016, China;

2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Tests of mulching with film of different kinds of materials were carried out after flat sowing peanut using watershed microplot. The results indicate that the soil temperature in the field covered by Liquid Microbe Degradable Film (LMDF) increased significantly, by an average of 0.2°C ~ 1.1°C on flowering and pegging stage and 0.1°C ~ 1.7°C on pod setting stage during the whole day. It was beneficial to peanut because of the better heat preservation. Fiber Black Resin Film (FRF) and Powder Degradable Film (PDF) had similar and relatively poor effect on surface soil temperature preservation. Polyethylene Plastic Film (PPF) had always kept a high soil temperature during the growing period. There were obvious differences between PPF and LMDF in soil temperature preservation, but they were both significantly higher than that of no mulching treatment (CK). The P_n in LMDF and PPF mulching increased respectively by 21% and 17%, and Tr in LMDF and PPF mulching increased respectively by 52% and 15%. Therefore, LMDF and PPF are more conducive to peanut production, and LMDF is suitable to mulching on peanut.

Keywords: peanut; degradable film; soil temperature; photosynthetic rate

(上接第 37 页)

Effects of furrow planting with ridge film mulching and side planting with flat film mulching on photosynthesis and yield of winter wheat

ZHANG Peng, ZHANG Xiao-fang, WEI Ting, JIA Zhi-kuan*, REN Xiao-long, DING Rui-xia

(Chinese Institute of Water-saving Agriculture, Northwest A&F University/Key Laboratory of Crop Physi-ecology and Tillage Science in Northwestern Loess Plateau, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To investigate the rational film-covering planting pattern for sub-humid areas of Loess Plateau, two measures of ridge (R) and flat (F) film mulching are adopted, taking traditional cultivation as the control, on soil moisture, photosynthetic indexes, chlorophyll relative content (SPAD) in flag leaves and grain yield of winter wheat under four film mulching treatments. The results showed that: compared to traditional cultivation (CK), in the whole growth period, the 0 ~ 200 cm soil moisture content in R40 and R60 treatments increased respectively by 8.82% and 10.84%, and the F40 and F60 had 4.40% and 3.96% improvement, while R treatment had averagely 5.42% ($P < 0.05$) more than F treatment. In the film mulching modes, the SPAD value, net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (Tr) and stomatal conductance (G_s) were significantly ($P < 0.05$) higher than those in CK, and the R treatment significantly higher than F under the same film mulching width, and the intercellular CO_2 concentration (C_i) was significantly lower than CK ($P < 0.05$). The economic yield and WUE of winter wheat under different film mulching were significantly higher than CK, and the average increasing rate was 20.18% and 30.97%. Compared to F treatment, the biomass, grain yield and WUE respectively increased under corresponding R treatment. The results indicate that furrow planting with ridge film mulching is a beneficial cultivating model in sub-humid areas of Loess Plateau for winter wheat.

Keywords: film mulching; soil moisture; photosynthesis; winter wheat