

王安, 吴薇, 焦庆清, 等. 基于芋头地膜覆盖条件下土壤温度的综合评价[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(4): 798-805.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.04.014

## 基于芋头地膜覆盖条件下土壤温度的综合评价

王安<sup>1</sup>, 吴薇<sup>1</sup>, 焦庆清<sup>1</sup>, 谢吉先<sup>2</sup>, 常亚芸<sup>2</sup>, 冯翠<sup>1</sup>, 蒋莹<sup>1</sup>, 张培通<sup>1</sup>, 艾玉春<sup>3</sup>  
(1. 泰州市农科所, 江苏 泰州 225300; 2. 泰兴市旱地作物研究所, 江苏 泰兴 225433; 3. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 以泰兴香荷芋为试验材料, 设置颜色及厚度不同的地膜覆盖 10 个处理, 研究地膜覆盖对不同深度土壤温度的影响, 并运用 TOPSIS 法对不同时刻、不同深度的土壤温度进行了综合分析。结果表明: 不同地膜覆盖处理间的土壤温度在不同时刻(5:00、8:00、14:00)均有极显著差异, 且地下 5 cm、10 cm、15 cm 处的土壤温度也有极显著的差异, 白色地膜覆盖处理下的土壤温度最高, 其次为黑膜覆盖, 露地处理下土壤温度最低, 且土壤温度与黑色地膜厚度存在显著正相关; 从生育进程看, 各处理不同深度的土壤温度在出苗期、4 叶期、8 叶期有显著差异; 基于 TOPSIS 法的土壤温度综合评价结果表明, 各地膜处理土壤温度与最优解的接近度的大小顺序为: 旋耕 15  $\mu\text{m}$  白色地膜>旋耕 20  $\mu\text{m}$  白色地膜>旋耕 30  $\mu\text{m}$  白色地膜>旋耕 6  $\mu\text{m}$  白色地膜>旋耕 30  $\mu\text{m}$  黑色地膜>平作 30  $\mu\text{m}$  黑色地膜>旋耕 20  $\mu\text{m}$  黑色地膜>旋耕露天>平作露天>旋耕 15  $\mu\text{m}$  黑色地膜, 表明旋耕条件下, 15  $\mu\text{m}$  白色地膜覆盖处理在土壤温度的综合评价中评价分数最高。

**关键词:** 芋头; 地膜覆盖; 土壤温度

**中图分类号:** S634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)04-0798-08

## Comprehensive assessment of soil temperature in a plastic film mulched taro planting system

WANG An<sup>1</sup>, WU Wei<sup>1</sup>, JIAO Qing-qing<sup>1</sup>, XIE Ji-xian<sup>2</sup>, CHANG Ya-yun<sup>2</sup>, FENG Cui<sup>1</sup>, JIANG Ying<sup>1</sup>, ZHANG Pei-tong<sup>1</sup>, AI Yu-chun<sup>3</sup>

(1. Taizhou Academy of Agricultural Sciences, Taizhou 225300, China; 2. Taixing Institute of Dryland Crops, Taixing 225433, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** This study investigated the effects of different plastic mulching patterns on the soil temperature at different depths in a taro planting system in Taixing, Jiangsu province. Ten treatments were conducted with different colors and thickness of plastic film. The results indicated that the soil temperatures in different treatments varied at various time of 5:00 AM, 8:00 AM, and 14:00 PM. There were significant differences in soil temperature at depths of 5 cm, 10 cm and 15 cm ( $P<0.05$ ). The soil temperature covered with white plastic film was the highest, followed by black plastic film, and the mulching-free treatment took the lowest. The soil temperature was positively correlated with at different depths and different treatments also varied from the stages of growth and development of taro seedling, and the seeding emerging, 4- and 8-leaf stages had significant impacts on the soil temperature. The soil temperature varied at different growth periods and was

significantly positively correlated with the thickness of black plastic film. TOPSIS algorithm revealed treatment D5 which was 15- $\mu\text{m}$  white plastic film mulching scored the highest among all treatments in the comprehensive evaluation of soil temperature.

**Key words:** taro; plastic film mulching; soil temperature

收稿日期: 2014-12-27

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[ CX(14)2053 ]

作者简介: 王安(1988-), 男, 江苏灌云人, 硕士研究生, 主要从事特粮特经作物品种选育及其高效配套技术研究。(E-mail) wangan\_863@foxmail.com

通讯作者: 艾玉春, (E-mail) yuchunai@126.com

地膜覆盖技术起源于 20 世纪中叶的日本,它能起到增温保墒、保持土壤疏松、改善土壤环境等作用<sup>[1-4]</sup>,地膜覆盖以良好的增产效应逐渐成为国内外主要经济作物种植方式之一<sup>[5]</sup>,并取得了较好的社会、经济和生态效益<sup>[6-8]</sup>。地膜覆盖技术增产效应最主要的原因是对土壤显著的增温保墒作用。例如,杨封科等认为,地膜覆盖大豆后从出苗到灌浆期间 0~20 cm 土层处的温度较露地条件下平均高 0.5~2.5℃,而全生育期土壤温度则显著提高 1.3~1.6℃<sup>[9]</sup>;Lament 等在研究不同颜色地膜覆盖对作物生长发育影响时发现,白膜覆盖与无地膜覆盖相比,能显著提高土壤表层温度<sup>[10]</sup>;申丽霞等人研究地膜覆盖玉米对表层土壤温度的影响时发现,与露地栽培方式相比,地膜覆盖能明显提高玉米播种后地表和地下 10 cm 的土壤温度<sup>[11]</sup>。然而,目前地膜覆盖模式对土壤温度的作用机理还缺乏深入的研究,这主要是由于受到覆膜方式、土壤层次、地膜种类、生育时期、作物种类等多个因素的影响<sup>[12-14]</sup>。另外,地膜覆盖对土壤温度影响的研究缺乏持续性、土壤分层简单或不分层等,影响了结果的全面性及可靠性<sup>[15]</sup>。

目前,地膜覆盖对土壤温度影响的研究主要集中在不同地膜间简单的对比分析。由于影响土壤温度效应的因素很多,用简单的对比方法分析土壤温度得到的结论具有较大的局限性,因此,需要分别对各种影响因素单独评价和综合评价,才能得到具有指导意义的分析研究结果。综合分析评价应用比较多的方法有聚类分析法、TOPSIS 法、主成分分析法、模糊数学法、灰色关联度分析法等。而 TOPSIS (Technique for order preference by similarity to ideal solution) 法则为一种常用的有效方法之一,它是根据有限个评价对象与理想化目标的接近程度进行排序的方法,是在现有的对象中进行相对优劣的评价,具有逻辑严密,方法灵活,结果精确的优点,适用于各种类型的评价、优化、决策问题<sup>[16]</sup>。它的基本思想是:基于归一化后的原始数据矩阵,找出有限方案中的最优方案和最劣方案(分别用最优向量和最劣向量表示),然后分别计算诸评价对象与最优方案和最劣方案的距离,获得各评价对象与最优方案的相对接近程度,以此作为评价优劣的依据<sup>[17]</sup>。

目前,TOPSIS 算法在各个领域都得到了广泛的应用<sup>[18-20]</sup>。然而,国内外研究者运用 TOPSIS 法对土壤温度的综合评价则鲜有报道。为此,本研究以泰兴

香荷芋为材料,研究其生育期内不同地膜覆盖模式对土壤温度的影响,并运用 TOPSIS 法对不同时刻及不同土层温度进行综合评价,旨在为深入研究地膜覆盖对土壤增温机理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与方法

试验所选的品种为泰兴香荷芋,试验在江苏省泰兴市旱地作物研究所进行。该地区地势平坦,排灌良好,肥力中等均匀。采用垅作栽培方式种植,前茬为水稻,水稻收获后秸秆全量粉碎还田,冬季耕翻压草冻垡。2014 年 3 月 8 日撒施有机复合肥 4 500 kg/hm<sup>2</sup>,高钾复合肥 900 kg/hm<sup>2</sup>,同时按表 1 中的方案进行试验。4 月 10 日播种,播种方式为穴播,其中,白色地膜覆盖小区播完种芋后覆上地膜,黑色地膜覆盖小区覆膜后破膜播种种芋。试验采用随机区组排列,3 次重复,小区面积为 13.68 m<sup>2</sup>,小区间隔 40 cm。垄宽为 100 cm,高 20 cm,垄面宽 60 cm,密度为 1 hm<sup>2</sup> 52 620 株,四周设置保护行。整个生育期浇水、施肥及病虫害防治方面各小区均相同。

### 1.2 测定项目

采用红星仪表厂的玻璃温度计对不同地膜覆盖小区的土壤温度进行测量,测量深度分别为地面下 5 cm、10 cm、15 cm,测定时间为每天 5:00、8:00、14:00,测量日期从 4 月 16 日开始,一直持续到 7 月 1 日白色地膜(D5)降解为止。

表 1 不同处理的地膜颜色及厚度

Table 1 The different film colors and thickness between treatments

处理	地膜	地膜厚度(μm)
D1	黑色	15
D2	黑色	20
D3	黑色	30
D4	白色	6
D5	白色	15
D6	白色	20
D7	白色	30
D8	无	—
D9	黑色	30
D10	无	—

D1~D8 处理土壤耕作方式为旋耕,D9、D10 处理耕作方式为平作。

### 1.3 数据分析

方差分析采用 SPSS16.0 软件中的 Univariate 进

行分析, TOPSIS 法综合评价具体方法为:

1.3.1 构建决策矩阵 设多属性决策问题有  $n$  个评价对象和  $m$  个评价指标, 构建多属性决策矩阵:

$$Y = [x_{ij}]_{m \times n}$$

1.3.2 评价指标同趋势化 TOPSIS 法进行评价时, 要求所有指标变化方向一致 (即所谓同趋势化), 将高优指标转化为低优指标, 或将低优指标转化为高优指标。

$$x'_{ij} = \begin{cases} x_{ij} & \text{高优指标} \\ 1/x_{ij} & \text{低优指标} \\ M/[M+|x_{ij}-M|] & \text{中优指标} \end{cases}$$

1.3.3 趋同化数据的归一化 在目标决策中, 由于各指标的量纲不同, 而且各指标变化范围有大有小, 为较好地反映指标变化的实际情况, 决策之前需将决策矩阵进行归一化。

$$Z_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij})^2}} & \text{(原高优指标)} \\ \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x'_{ij})^2}} & \text{(原低优指标或中性指标)} \end{cases}$$

1.3.4 确定最优方案和最劣方案

$$Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_m^+) = \{\max Z_{ij} | j=1, 2, \dots, m\}$$

$$Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_m^-) = \{\min Z_{ij} | j=1, 2, \dots, m\}$$

表 2 不同时刻间土壤温度的方差分析

Table 2 Variance analysis of soil temperature in different times

项目	5 : 00		8 : 00		14 : 00	
	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
处理	3.57	0.006	5.79	<0.001	17.77	<0.001
深度	106.29	<0.001	244.14	<0.001	515.99	<0.001
处理×深度	2.28	0.016	0.97	0.496	2.19	0.003

为分析不同处理间土壤温度的差异性, 在方差分析的基础上, 对不同处理的土壤温度进行了 Tukey 法多重比较, 结果 (表 3) 显示: 早上 5 : 00 时, 以露地处理 (D8、D10) 的土壤平均温度最低, 分别为 18.32 °C、18.38 °C, D5 (白膜、15 μm) 与露地处理 (D8、D10) 相比, 土壤温度有显著的提高, 另外, 白膜覆盖处理 (D4、D6、D7) 土壤的平均温度相对较高, 分别为 19.42 °C、19.69 °C、19.66 °C, 表明早上 5 : 00 白膜覆盖处理对土壤的增温效果比黑膜覆盖

1.3.5 计算各评价对象与最优方案和最劣方案的

$$\text{欧氏距离 } D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{ij}^- - Z_j^-)^2} \quad D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{ij}^+ - Z_j^+)^2}$$

式中  $D_i^+$  与  $D_i^-$  分别表示第  $i$  个评价对象与最优方案及最劣方案的距离;  $Z_{ij}$  表示某个评价对象  $i$  在第  $j$  个指标的取值。

1.3.6 计算各评价对象与最优方案的接近程度

$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-)$   $0 \leq C_i \leq 1$ ,  $C_i \rightarrow 1$ , 表明评价对象越优。

1.3.7 按  $C_i$  大小排序, 给出评价结果  $C_i$  值越大, 表示综合效益越好, 方案越优。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同时刻处理间土壤温度的差异性

对全监测期 (4 月 16 日 ~ 7 月 10 日) 的方差分析结果 (表 2) 表明: 不同处理在 5 : 00、8 : 00、14 : 00 这 3 个时刻土壤温度差异均达到了显著或极显著水平, 表明地膜颜色及厚度会显著或极显著影响土壤温度; 就土壤深度而言, 不同深度间的土壤温度在不同时刻 (5 : 00、8 : 00、14 : 00) 也存在极显著的差异; 而处理与深度的互作中, 5 : 00 与 14 : 00 时刻下, 互作达到显著水平, 表明处理与深度的相互作用会影响土壤温度, 而在 8 : 00 时刻下, 地膜与深度的互作则没有显著差异。

与露地处理更明显, 且土壤温度与地膜厚度有着极显著的正相关 ( $r=0.698^{**}$ ); 早上 8 : 00 时, 不同处理对土壤温度的影响与 5 : 00 时相似, 以 D5 处理的土壤温度最高, 平均值为 25.07 °C, 白膜处理的土壤温度比黑膜处理 (D1、D2、D3) 的高, 露地处理的最低; 下午 14 : 00 时, 白膜覆盖处理 (D4 ~ D7) 的土壤温度与黑膜覆盖处理及露地处理相比, 均有显著的差异, 但是黑膜处理 (D1 ~ D3) 与露地相比无显著差异。另外, 随着下午 14 : 00 光照的逐步增强, 各处理

的土壤温度均有不同幅度的升高,与上午8:00时相比,各处理的温度均有3℃以上的升高,以D6处理的土壤温度升幅最大,为4.49℃,D1处理升幅最小,为3.07℃。

表3 不同地膜处理下土壤温度的差异性

Table 3 The difference between mulchings in soil temperature

处理	土壤温度(℃)		
	5:00	8:00	14:00
D1	18.49±4.33c	21.32±4.36d	24.39±4.45d
D2	18.85±4.01bc	22.44±3.94c	26.07±4.32bc
D3	19.26±3.97b	22.49±3.98c	25.59±4.07bc
D4	19.42±4.06b	23.54±4.07b	27.75±4.17a
D5	20.07±3.97a	25.07±3.93a	28.81±4.16a
D6	19.69±3.9ab	24.14±3.8ab	28.63±4.12a
D7	19.66±3.97ab	23.83±4.09b	27.74±5.13a
D8	18.32±4.02c	22.08±4.01d	25.50±4.21cd
D9	19.29±4.46b	22.62±4.28bc	25.81±4.44b
D10	18.38±4.07c	22.20±4.05cd	25.67±4.22c

处理D1~D10见表1。同列不同小写字母表示差异达0.05显著水平。

## 2.2 不同生育期处理间土壤温度的差异性

随着芋头生育期的推进,不同地膜覆盖处理对土壤温度的增效作用有所不同。由表4可知,各处理地下5cm处土壤温度在出苗期5:00、8:00和14:00的最大值分别为15.73(D6)、19.46(D5)和33.37(D7),这3个处理均为白膜覆盖处理,与黑膜

覆盖处理(D1~D3)及露地处理(D8、D10)相比均有显著差异,表明白膜覆盖处理对提高土层温度具有更好的效果。D4~D7处理之间土壤温度差异性在不同时刻均未达到显著水平,表明不同厚度的白膜覆盖处理对地下5cm处土壤增温效应无明显差异,而D1~D3处理间的土壤温度在14:00时均有显著差异,表明该时刻不同厚度的黑膜覆盖能显著影响地下5cm处土壤温度。另外,D8与D102个露地处理的土壤温度在5:00、8:00和14:00相对其他处理较低;各处理土壤温度在4叶期不同时刻均有显著差异,早上5:00以D10处理土壤温度最低,为21.53℃,与D3~D9各处理土壤温度均有显著差异,但与D1、D2无显著差异。8:00和14:00以D1黑膜覆盖处理的土壤温度最低,分别为24.45℃和32.53℃,与其他处理间土壤温度差异达到显著水平。而各处理土壤温度在5:00、8:00和14:00的最高值分别为23.37℃(D5)、27.1℃(D5)、40.83℃(D6);随着生育期的推进,各处理间地下5cm处的土壤温度在8叶期的差异性较小。其中,早上5:00,除了D6、D7、D103个处理与其他各处理有显著差异,其他各处理土壤温度间则无显著差异。各处理地下5cm处土壤温度间在8:00均没有显著差异。在14:00时,除了D3、D4、D9与D2、D5、D7、D10处理有显著差异性,其他处理土壤温度间差异性未达显著水平。该结果表明地膜覆盖对土壤的增温作用会随着地上植株的生长而减弱。

表4 各处理不同生育期地下5cm处土壤温度

Table 4 Soil temperature at 5 cm depth between treatments among different duration periods

处理	土壤温度(℃)								
	出苗期			4叶期			8叶期		
	5:00	8:00	14:00	5:00	8:00	14:00	5:00	8:00	14:00
D1	13.91c	15.94c	23.90d	21.60c	24.45c	32.53d	21.78b	22.82a	24.64ab
D2	14.13c	17.37b	28.21b	22.07bc	25.68b	35.00c	22.62b	23.40a	25.96a
D3	14.90b	17.79b	25.84c	22.83b	26.05b	34.58c	22.92b	23.72a	25.32b
D4	15.34ab	18.86a	31.86a	22.43b	25.63b	37.35b	22.92b	23.60a	25.62b
D5	15.67a	19.46a	33.19a	23.37a	27.10a	38.75ab	23.18b	23.72a	26.26a
D6	15.73a	18.61ab	31.64ab	22.97ab	26.95a	40.83a	23.50a	23.68a	25.74ab
D7	15.57a	19.11a	33.37a	23.07a	26.88ab	39.40a	23.44a	23.96a	26.04a
D8	15.70a	16.71c	27.20b	22.43b	25.03c	36.65b	22.92b	23.52a	24.98ab
D9	13.07c	18.31b	25.93c	23.27a	26.48b	34.58c	22.98b	23.54a	25.56b
D10	14.24c	17.26bc	28.21b	21.53c	26.13b	37.60b	24.07a	23.46a	25.86a

处理D1~D10见表1。同一列中不同小写字母表示差异达0.05的显著水平。



由表 5 可知,各处理地下 10 cm 处土壤温度在出苗期 5:00、8:00 和 14:00 以 D5 处理最高,分别为 16.59 °C、19.29 °C、30.79 °C。且与其他处理有显著差异。白膜覆盖处理(D4 ~ D7)的土壤温度与黑膜覆盖处理(D1 ~ D3、D9)相比,均有显著差异(D4 处理 8:00 除外)。而对应时间土壤温度最低值的处理分别为 D10(13.21 °C)、D1(15.8 °C)、D1(22.53 °C);

4 叶期各白膜处理地下 10 cm 处土壤温度间在 5:00 时均无显著差异,与黑膜处理(D1 ~ D3)则有显著差异。而在 8:00、14:00 时以 D5 处理

土壤温度最高,分别为 26.5 °C、36.93 °C,与其他处理相比均有显著差异,表明在 4 叶期 D5 处理对地下 10 cm 处土壤温度增效作用最大;8 叶期 D10 处理地下 10 cm 处土壤温度 5:00 时温度为 24.48 °C,均显著高于其他各处理。D4 ~ D6 处理间土壤温度在 8:00 时均无显著差异,但均显著高于其他各处理,其他处理间土壤温度差异性未达显著水平。D5 ~ D7 处理间土壤温度在 14:00 差异性不显著,但均高于其他处理,D1 ~ D4 和 D8 ~ D10 土壤温度间均无显著差异。

表 5 各处理不同生育期地下 10 cm 处土壤温度

Table 5 Soil temperature at 10 cm depth between treatments among different duration periods

处理	土壤温度(°C)								
	出苗期			4 叶期			8 叶期		
	5:00	8:00	14:00	5:00	8:00	14:00	5:00	8:00	14:00
D1	13.49d	15.80d	22.53d	21.97c	23.83d	30.93d	22.42c	22.72b	24.46b
D2	14.61c	16.21c	24.06c	21.87c	24.43c	32.68c	23.22b	23.06b	25.62b
D3	14.79c	16.79c	23.71c	23.00b	25.13c	32.05cd	22.78c	23.42b	25.32b
D4	15.90b	17.71cd	29.43b	23.17ab	25.13c	33.78c	23.00c	23.74a	25.60b
D5	16.59a	19.29a	30.79a	23.30a	26.50a	36.93a	23.36b	23.96a	26.28a
D6	15.80b	17.74b	28.79b	23.23a	25.13c	34.30b	23.46b	23.62a	25.82a
D7	15.43b	17.79b	28.47b	23.27a	24.58c	34.00bc	23.54b	23.52b	25.80a
D8	13.71cd	15.93d	23.33d	22.77b	23.45d	30.15d	23.52b	23.08b	24.60b
D9	14.31c	17.74b	23.79c	23.50a	25.50b	32.23c	22.94c	23.54b	25.63b
D10	13.21d	15.86d	24.36c	21.60c	24.13d	32.05cd	24.48a	23.20b	25.40b

处理 D1 ~ D10 见表 1。同一列中不同小写字母表示差异达 0.05 的显著水平。

由表 6 可知,不同处理间地下 15 cm 处土壤温度在出苗期 5:00、8:00 和 14:00 显著差异性比较明显,以白膜处理最高,分别为 16.19 °C、18.03 °C、20.21 °C,均显著高于黑膜处理与露地处理,D1 处理对应时间的地温最低,分别为 13.9 °C、14.29 °C、16.17 °C;4 叶期 D5 在 5:00、8:00 和 14:00 的土壤温度较高,分别为 22.99 °C、24.07 °C、26.68 °C,与黑膜(D1 ~ D3)及露地(D8、D10)处理均有显著差异,不同厚度黑膜处理(D1、D9)之间土壤温度在 5:00、8:00 和 14:00 均存在显著差异;8 叶期 D7、D10 处理在 5:00 的土壤温度显著高于其他处理,土壤温度值分别为 23.88 °C、24.18 °C,而其他处理土壤温度则无

显著差异。各处理(D5 除外)地下 15 cm 处温度在 8:00、14:00 均无显著差异,表明地上植株的生长会抑制地膜覆盖对土壤温度增温效应。

### 2.3 地膜覆盖条件下土壤温度的综合评价

由于土壤温度受到不同生育期(出苗期、4 叶期、8 叶期)、不同时刻(5:00、8:00、14:00)和土层深度(地下 5 cm、地下 10 cm、地下 15 cm)多因素的影响,以及土壤温度间存在一定的相关性,进行单因素分析会造成工作量的增加及分析结果的相似重叠性,故本研究利用 TOPSIS 法在全监测期对各处理不同时刻(5:00、8:00、14:00)及不同土层(地下 5 cm、地下 10 cm、地下 15 cm)的土壤平均温度进行综

合分析(表 7),研究各处理间土壤温度的差异,并对各处理的土壤温度进行排名和综合评价。表 8 为

TOPSIS 法各项的理想解和负理想解,即最优向量和最劣向量。

表 6 各处理不同生育期地下 15 cm 处土壤温度

Table 6 Soil temperature at 15 cm depth between treatments among different duration periods

处理	土壤温度 (°C)								
	出苗期			4 叶期			8 叶期		
	5 : 00	8 : 00	14 : 00	5 : 00	8 : 00	14 : 00	5 : 00	8 : 00	14 : 00
D1	13.90c	14.29d	16.17d	22.37b	22.33c	23.83c	22.72b	22.72b	22.98b
D2	14.46b	15.54c	16.93d	22.76b	22.60bc	24.95bc	23.02b	23.06b	23.28b
D3	16.15b	16.23b	17.23cd	22.44b	23.33b	25.63b	23.30b	23.42b	23.62b
D4	16.09ab	16.74ab	18.69b	21.97b	23.57b	25.60b	23.68b	23.74b	24.06ab
D5	14.43c	18.03a	20.21a	22.99a	24.07a	26.68a	23.80b	23.96a	24.38a
D6	16.19a	17.00a	18.40b	23.53bc	23.73ab	25.38b	23.56b	23.62b	23.82b
D7	15.57b	16.39b	19.51ab	24.76a	24.40a	26.23ab	23.88a	23.52b	24.28ab
D8	15.09bc	15.19c	17.47c	22.50b	23.50b	24.88bc	23.24b	23.08b	23.48b
D9	14.98c	15.10cd	18.01bc	24.09a	24.00a	25.90b	23.33b	23.54b	23.45b
D10	14.32c	14.57d	16.50d	20.65c	21.93c	23.90c	24.18a	23.20b	23.92b

处理 D1 ~ D10 见表 1。同一列中不同小写字母表示差异达 0.05 的显著水平。

表 7 各处理条件下不同土层及不同时刻土壤温度

Table 7 The soil temperature of depths at different times under mulching Treatments

处理	土壤温度 (°C)								
	5 cm			10 cm			15 cm		
	5 : 00	8 : 00	14 : 00	5 : 00	8 : 00	14 : 00	5 : 00	8 : 00	14 : 00
D1	18.22	20.12	18.22	18.43	20.05	18.22	18.81	18.81	20.35
D2	18.55	21.26	18.55	18.65	20.32	18.55	19.33	19.33	20.96
D3	19.01	21.69	19.01	19.14	20.91	19.01	19.64	19.64	21.53
D4	19.13	22.00	19.13	19.26	21.36	19.13	19.86	19.86	21.96
D5	19.51	25.49	19.51	19.94	22.36	19.51	20.75	20.75	22.69
D6	19.27	22.51	19.27	19.65	21.51	19.27	20.14	20.14	21.71
D7	19.30	22.49	19.30	19.49	21.21	19.30	20.20	20.20	22.24
D8	18.25	20.84	18.25	18.61	19.88	18.25	19.15	19.15	20.73
D9	18.99	21.62	18.99	19.19	21.16	18.99	19.70	19.70	21.70
D10	18.16	21.31	18.16	18.23	20.21	18.16	18.74	18.74	20.37

处理 D1 ~ D10 见表 1。

表 8 不同土层及时刻土壤温度的最优、最劣向量

Table 8 The optimal and worst vector under different depths and times

处理	地下 5 cm			地下 10 cm			地下 15 cm		
	5 : 00	8 : 00	14 : 00	5 : 00	8 : 00	14 : 00	5 : 00	8 : 00	14 : 00
最优向量	0.36	0.43	0.35	0.36	0.34	0.38	0.37	0.34	0.36
最劣向量	0.32	0.3	0.3	0.32	0.32	0.3	0.32	0.32	0.31

TOPSIS 分析结果的  $C_i$  值越大,表明其愈接近理想解,其综合评价分数越高。表 9 中  $C_i$  的排序为: D5>D6>D7>D4>D3>D9>D2>D8>D10>D1。从地膜颜色层次看,白膜覆盖(D4、D5、D6、D7)对土壤增温效应最大,且增温效应与白膜厚度呈反比(D4 除外),黑膜覆盖(D2、D3)其次,而露地条件下 D8、D10 两个处理  $C_i$  较低,表明无地膜覆盖条件下土壤增温较小。 $C_i$  最低的为 D1(黑膜、15  $\mu\text{m}$ ),可能原因是 TOPSIS 法对土壤温度综合评价的结果与理想结果还存在微小差别。另外,黑膜覆盖处理  $C_i$  值大小排序为 D3(黑膜、30  $\mu\text{m}$ )>D2(黑膜、20  $\mu\text{m}$ )>D1(黑膜、15  $\mu\text{m}$ ),表明黑膜厚度与土壤增温效应呈正相关,这与白膜覆盖条件相反,可能原因是不同颜色的地膜覆盖对土壤增温机制有所差异。

表 9 各处理增温效果与评价结果最优值的接近程度

Table 9 Proximity to optimal value of mulching treatments and its distance with the optimal and worst vector

处理	$D^+$ (与理想解距离)	$D^-$ (与负理想解距离)	$C_i$
D1	0.184 4	0.023 3	0.127 8
D2	0.143 7	0.057 2	0.310 3
D3	0.136 5	0.082 8	0.423 1
D4	0.120 9	0.087 7	0.441 3
D5	0.081 8	0.150 8	0.706 0
D6	0.086 9	0.144 0	0.655 0
D7	0.109 1	0.099 4	0.469 0
D8	0.164 2	0.051 9	0.259 0
D9	0.133 3	0.062 2	0.337 4
D10	0.162 0	0.039 3	0.198 0

处理 D1~D10 见表 1。

### 3 讨论

本研究运用 TOPSIS 法分析了不同颜色的地膜覆盖对不同时刻、不同深度的土壤温度的影响。结果表明:全监测期内不同土层间土壤温度存在显著差异;而不同地膜覆盖对土壤温度也有显著的影响。白色地膜处理条件下土壤增温效果较黑色地膜处理更好,且土壤温度高低与地膜厚度密切相关。不同颜色地膜对土壤增温效应的差异,主要与不同颜色地膜对不同波段光的接收能力不同有关,这与杨封科、Schmidt 等人的研究结论相一致<sup>[9,21-22]</sup>。另外,土壤温度综合评价表明, D5(白膜、15  $\mu\text{m}$ )、D6(白

膜、20  $\mu\text{m}$ )、D7(白膜、30  $\mu\text{m}$ )的土壤综合温度比较高,而 D1(黑膜、15  $\mu\text{m}$ )、D8(无地膜、旋耕)、D10(无地膜、平作)的土壤综合温度则较低,表明不同地膜覆盖模式对土壤增温效应不同,总体而言,白膜覆盖对土壤增温效应比较明显,这与 Fortnum 等人<sup>[23-24]</sup>的研究报到一致。

地膜覆盖在保持与提高土壤温度方面起着重要作用。多年来,不同研究者对地膜覆盖对不同土层、不同时刻的土壤温度进行了较为详细的研究<sup>[6,25-27]</sup>,但由于影响土壤温度的因素较多,很难得到精确的结果。目前,运用 TOPSIS 法对土壤温度进行综合评价的报道较少。本研究以地膜覆盖模式为基础,对不同时刻的不同深度的土壤温度进行基于 TOPSIS 算法的综合分析,该方法的优点是减小了土壤温度分析的工作量及不同时刻土壤温度的重叠性。当然,本研究仅仅探索了地膜覆盖模式对土壤温度的影响,而地膜覆盖对土壤养分、土壤微生物以及香荷芋生长发育的影响还有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] WAGGONER P E, MILLER P M, DE ROO H C. Plastic mulching: principles and benefits[R]. United Kingdom: CAB Direct, 1960.
- [2] 吴慧,许映飞,韩勇,等. 地膜覆盖对棉花营养土穴盘苗产量及养分吸收的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):62-63.
- [3] 虞利俊,徐磊,唐玉邦,等. 3 种可降解地膜的合成及应用展望[J]. 江苏农业科学,2013,41(10):10-11.
- [4] 焦庆清,常亚芸,王全友,等. 地膜覆盖对泰兴香荷芋生长发育及产量和效益的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):115-118.
- [5] ZHANG S, LI P, YANG X, et al. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize[J]. Soil and Tillage Research,2011, 112(1): 92-97.
- [6] 张义,谢永生,郝明德. 不同地表覆盖方式对苹果园土壤性状及果树生长和产量的影响[J]. 应用生态学报,2010, 21(2): 279-286.
- [7] 翟胜,梁银丽,王巨媛. 日光温室地面覆盖对嫁接与未嫁接黄瓜生长发育、产量及土壤环境的影响[J]. 应用生态学报,2005, 16(12): 2344-2348.
- [8] RIGGI E, SANTAGATA G, MALINCONICO M. Bio-based and biodegradable plastics for use in crop production[J]. Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture,2011, 3(1): 49-63.
- [9] 杨封科,王立明,张国宏. 甘肃旱作大豆全膜双垄种植的土壤水热及产量效应[J]. 应用生态学报,2013, 24(11): 3145-3152.
- [10] LAMENT W J. Plastic mulches for the production of vegetable

- crops[J]. HortTechnology, 1993, 3(1): 35-39.
- [11] 申丽霞,王 璞,张丽丽. 可降解地膜对土壤、温度水分及玉米生长发育的影响[J]. 农业工程学报,2011, 27(6): 25-30.
- [12] RAMAKRISHNA A, TAM H M, WANI S P, et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam[J]. Field Crops Research,2006, 95(2): 115-125.
- [13] VAN WIJK W R, LARSON W E, BURROWS W C. Soil temperature and the early growth of corn from mulched and unmulched soil [J]. Soil Science Society of America Journal,1959, 23(6): 428-434.
- [14] LAL R. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils[J]. Plant and Soil,1974, 40(1): 129-143.
- [15] LI F, GUO A, WEI H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crops Research,1999, 63(1): 79-86.
- [16] CHEN C. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment [J]. Fuzzy Sets and Systems,2000, 114(1): 1-9.
- [17] SHIH H, SHYUR H, LEE E S. An extension of TOPSIS for group decision making [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2007, 45(7): 801-813.
- [18] WANG C P, CHEN Q, LUO K, et al. Evaluation of resistance in wheat germplasm to the aphids (Sitobion avenae) based on Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and cluster methods[J]. African Journal of Agricultural Research,2011, 6(6): 1592-1599.
- [19] TORLAK G, SEVKLI M, SANAL M, et al. Analyzing business competition by using fuzzy TOPSIS method: an example of Turkish domestic airline industry [J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(4): 3396-3406.
- [20] MURALIDHAR P, RAVINDRANATH K, SRIHARI V. The influence of GRA and TOPSIS for assortment of green supply chain management strategies in Cement industry [J]. International Journal of Supply Chain Management, 2013, 2(1):49-54.
- [21] SCHMIDT J R, WORTHINGTON J W. Modifying heat unit accumulation with contrasting colors of polyethylene mulch [J]. Hort-Science, 1998, 33(2): 210-214.
- [22] ROSENBERG N J. Microclimate: the biological environment [M]. Wiley-Interscience: John Wiley & Sons,1983.
- [23] FORTNUM B A, DECOTEAU D R, KASPERBAUER M J. Colored mulches affect yield of fresh-market tomato infected with Meloidogyne incognita[J]. Journal of Nematology,1997, 29(4): 538.
- [24] ODJUGO P. The effect of tillage systems and mulching on soil microclimate, growth and yield of yellow yam (Dioscorea cayenensis) in Midwestern Nigeria[J]. African Journal of Biotechnology, 2008, 7(24):4500-4507.
- [25] LIU Y, WANG J, LIU D, et al. Straw mulching reduces the harmful effects of extreme hydrological and temperature conditions in citrus orchards[J]. PloS One, 2014, 9(1): e87094.
- [26] 王 俊,李凤民,宋秋华,等. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J]. 应用生态学报,2003, 14(2): 205-210.
- [27] FORTNUM B A, KASPERBAUER M J, DECOTEAU D R. Effect of mulch surface color on root-knot of tomato grown in simulated planting beds[J]. Journal of Nematology, 2000, 32(1): 101.

(责任编辑:陈海霞)