

# 不同覆膜方式对杨树林下土壤物理性状及呼吸速率的影响

井大炜<sup>1,2</sup>

(1. 德州学院, 山东 德州 253023; 2. 山东省林业科学研究院, 山东 济南 250014)

**摘要:** 在大田条件下, 研究了白膜覆盖和黑膜覆盖对欧美 F-107 杨林下土壤 0—40 cm 土层的温度、含水量、容重、孔隙度和土壤呼吸速率的影响。结果表明, 在两种覆膜方式中, 白膜覆盖的增温效应优于黑膜覆盖, 而对土壤含水量的影响无显著差异。0—20 cm 土层白膜覆盖和黑膜覆盖处理均显著提高了土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度, 而土壤容重却明显降低, 分别比对照降低 15.44% 和 9.56%; 此外, 白膜覆盖的土壤呼吸速率与对照差异不显著, 而黑膜覆盖显著低于对照。20—40 cm 土层与 0—20 cm 土层表现出基本一致的变化规律, 但两种覆膜方式与对照之间的差异均变小, 表明随着土层的加深, 覆膜的影响作用减弱。说明白膜和黑膜覆盖均可明显改善表层土壤的物理性状, 但黑膜覆盖明显抑制了土壤呼吸。在两种覆膜方式中, 白膜覆盖的作用效果明显优于黑膜覆盖。

**关键词:** 地膜覆盖; 容重; 孔隙度; 土壤呼吸速率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)02-0038-05

中图分类号: S154, S158.3

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.009

## Effects of Different Plastic Film Mulching on Soil Physical Properties and Respiration Rate of Poplar Forest

JING Da-wei<sup>1,2</sup>

(1. Dezhou University, Dezhou, Shandong 253023, China; 2. Shandong Forestry Academy, Jinan, Shandong 250014, China)

**Abstract:** A field experiment of three treatments, i. e., traditional cultivation without mulching(CK), white plastic mulching(WM) and black plastic mulching(BM) was designed and performed to determine the effects of film mulching on soil temperature, water content, bulk density, and porosity and respiration rate in the 0—40 cm soil layer under *Populus euramericana*. Results indicated that the WM treatment had better warming effect than the BM treatment, but had no significant difference in the soil water content. In the 0—20 cm layer, the WM and BM treatments significantly increased the soil total porosity, capillary porosity and non-capillary porosity and however, the soil bulk density was visibly decreased, which was reduced by 15.44% and 9.56%, respectively. Besides, the soil respiration rate in the WM treatment had no significant difference as compared with CK, but the soil respiration rate in the BM treatment was obviously decreased. The 20—40 cm soil layer showed the variation trend similar to the 0—20 cm soil layer, while the differences among CK, WM and BM were decreased in the 20—40 cm soil layer, demonstrating that the effects of plastic film mulching on poplar weakened with the increasing of soil depth. In conclusion, the two plastic film mulching treatments significantly ameliorated the physical property of topsoil, while the black plastic mulching treatment evidently inhibited the soil respiration. Therefore, the white plastic mulching was obviously better than the black plastic mulching.

**Keywords:** plastic film mulching; bulk density; porosity; soil respiration rate

地膜覆盖是农业生产中的一项有效增产措施, 近些年来在我国北方旱区农业生产中被广泛推广和应用<sup>[1]</sup>。覆膜提供了特殊的土壤生态环境, 使土壤物理、化学性质和生物学性状发生了一定的变化, 如土壤结构和空气状况<sup>[2]</sup>, 土壤的水、热状况<sup>[3]</sup>, 土壤的

pH 值以及有机质<sup>[4]</sup>等。许多学者关于地膜覆盖对小麦<sup>[5]</sup>、玉米<sup>[6]</sup>等农作物的影响做了大量的研究, 然而对林木覆膜方面的研究相对较少。杨树是我国速生林主栽树种, 具有生长快, 成林早, 产量高和易于更新的特点。我国杨树人工林面积约  $6.67 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,

收稿日期: 2013-05-25

修回日期: 2013-06-13

资助项目: 山东省农业重大应用技术创新课题“杨树超高产栽培关键技术研究”

作者简介: 井大炜(1982—), 男(汉族), 陕西省绥德县人, 博士, 讲师, 主要从事植物营养机理研究。E-mail: jingdawei009@163.com。

占全国人工林面积的20%<sup>[7]</sup>。但目前杨树营造和经营中由于管理措施不当,一定程度上造成了林地土壤生态环境退化,林地生产力下降的现象,所以急需科学有效的管理措施来改善林地生产力。关于杨树林下覆膜下土壤物理性状及呼吸特性方面的研究鲜有报道,尤其关于不同覆膜方式对杨树林下土壤的影响研究还未见报道。为此,本试验以欧美F-107杨为试验材料,采用白膜覆盖和黑膜覆盖两种方式,研究覆膜对杨树林下土壤温度、含水量、容重、孔隙度及呼吸速率的影响,探讨不同覆膜方式对土壤微生态环境的作用效果,以期对杨树高产、高效栽培提高理论依据和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与供试材料

试验地点设在山东省济南市国有北郊林场,位于黄河公路大桥以西14 km处(北纬36°40',东经117°00'),属暖温带大陆性季风气候区,四季分明,日照充分,年平均气温14℃,年平均降雨量650~700 mm。供试土壤为潮土,土壤速效N 19.65 mg/kg,速效P 14.32 mg/kg,速效K 45.79 mg/kg,有机质含量为7.83 g/kg。所用化肥为尿素、过磷酸钙、氯化钾。地膜系聚乙烯薄膜,厚度0.014 mm,宽度1.2 m,覆盖面积达100 m<sup>2</sup>/kg。杨树为4年生F-107欧美杨人工林,株行距2.5 m×5 m,南北行向,林木生长均匀,平均树高10.58 m,平均胸径9.26 cm。

### 1.2 试验设计

试验共设3个处理:CK(对照,不覆膜),白膜覆盖(WM)和黑膜覆盖(BM)。采用随机区组设计,重复3次,每个小区30株树。化肥施用量相等,均为常规用量,相当于N 205.28 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 70.38 kg/hm<sup>2</sup>和K<sub>2</sub>O 58.65 kg/hm<sup>2</sup>的施肥水平。施肥后对每个小区进行充分灌溉,然后覆膜。覆膜的时间共分为4次,均在同一小区进行,第1次覆盖在2011年3月20日,第2次覆盖在2011年9月8日,第3次覆盖在2012年3月12日,第4次覆盖在2012年9月5日。覆膜期间的降雨量通过MM-950自动气象站获得,2011年3—11月的降雨量为619.4 mm,2012年3—11月的降雨量为642.5 mm,其中4月份的降水量为21.7 mm。

### 1.3 测定项目与方法

为了解土壤温度和含水量在不同覆膜方式下的变化规律,在2012年4月选择了3个有代表性的日期(4月2日、4月16日和4月30日),将曲管温度计埋入不同层次的土壤,测定不同覆膜处理在0—5 cm,5—10 cm,10—15 cm,15—20 cm和20—40 cm

土层的温度变化,每个处理3次重复,分别取8:00,12:00和18:00的3次平均值<sup>[8]</sup>。同时,每个处理按S形布设5个采样点,每个样点分别用土钻采取0—20 cm和20—40 cm两个深度层次的样品,然后将5个采样点的同一层次土样混合,得到不同土层混合土样样品;土样除去动植物残体和石砾等,将新鲜土样研磨过1 mm筛,混匀后迅速装入无菌塑料袋中带回实验室,立即采用烘干法测定土壤含水量。于2012年11月8日,采用环刀法测定土壤容重和孔隙度<sup>[9]</sup>;采用CO<sub>2</sub>释放量法测定土壤呼吸速率<sup>[10]</sup>,每处理3次重复。

### 1.4 数据处理

采用SPSS 17.0统计软件进行数据统计,用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同处理组数据的差异,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同覆膜方式对土壤温度的影响

地膜覆盖对土壤温度具有明显的影响。由表1可见,在4月2日,0—5 cm土层的地温在不同覆膜方式下的大小次序为:白膜覆盖>黑膜覆盖>对照,其中白膜覆盖的地温比对照提高了4.3℃,黑膜覆盖比对照提高了2.6℃,差异均达到显著水平;随着土层的加深,在5—10 cm土层的地温相比0—5 cm土层均有下降的趋势,各覆膜方式之间的变化规律也是白膜覆盖最高,其次是黑膜覆盖,均显著高于对照。随着土层的进一步加深,10—15 cm和15—20 cm土层的地温变化很小,但处理之间的变化趋势仍呈:白膜覆盖>黑膜覆盖>对照,处理间差异亦达到显著水平;而在20—40 cm土层时,地温基本保持不变,并且各处理之间均无显著性差异。同0—5 cm土层相比,随着土层的逐渐加深,不同覆膜方式之间的差异呈逐渐降低的趋势,这说明地膜覆盖对地温的影响具有明显的区域性。随着时间的推移,在4月16日和4月30日,外界气温逐渐增大,各覆膜方式下的地温也呈递增的趋势。不同覆膜方式之间的变化规律与4月2日的规律基本一致,但两种覆膜方式与对照之间的差异在逐渐变小,这表明随着外界气温的逐渐回升,覆膜的增温效应在减弱;同时随着土层的加深,覆膜与对照之间的差异亦呈递减的趋势。由此可见,不同覆膜方式在3个不同的测定时间均对地温有明显的提高作用,但随着气温的回升和土层的加深,增温效应逐渐降低。在两种覆膜方式中,白膜覆盖的增温效果明显优于黑膜覆盖。

表 1 不同覆膜方式对杨树林下地温的影响

℃

土层/ cm	4月2日			4月16日			4月30日		
	CK	WM	BM	CK	WM	BM	CK	WM	BM
0—5	11.9±0.4c	16.2±0.3a	14.5±0.4b	13.5±0.1c	17.5±0.2a	15.6±0.4b	16.1±0.3c	19.6±0.4a	17.9±0.1b
5—10	11.5±0.3c	15.2±0.1a	13.6±0.1b	12.6±0.2c	16.1±0.2a	14.3±0.1b	15.4±0.2c	18.3±0.2a	16.9±0.3b
10—15	10.9±0.2c	14.1±0.1a	12.5±0.3b	12.3±0.2c	15.3±0.3a	13.8±0.3b	15.2±0.2c	17.8±0.1a	16.4±0.3b
15—20	10.8±0.3c	14.1±0.1a	12.5±0.1b	12.3±0.1c	15.3±0.2a	13.7±0.2b	15.2±0.3c	17.7±0.1a	16.4±0.2b
20—40	10.5±0.2a	10.6±0.2a	10.5±0.1a	11.8±0.1a	11.9±0.3a	11.8±0.2a	14.7±0.2a	14.7±0.3a	14.7±0.1a

注:CK为对照(不覆膜),WM为白膜覆盖,BM为黑膜覆盖,下同。数据为平均值±标准差,相同土层深度3个处理中不同小写字母表示数据差异显著( $p<0.05$ )。下同。

## 2.2 不同覆膜方式对土壤含水量的影响

不同覆膜方式对土壤含水量的影响如表 2 所示。由表 2 可以看出,在 4 月 2 日时,0—20 cm 土层的含水量变化规律为:白膜覆盖和黑膜覆盖差异不显著,但均显著高于对照;在 20—40 cm 土层时,两种覆膜方式下的含水量与对照差异不显著。随着时间的延长,在 4 月 16 日和 4 月 30 日,外界的气温逐渐增大,裸地土壤的蒸发量增大,导致对照在 0—20 cm 土层的含水量明显降低;而两种覆膜方式下的含水量有逐渐增大的趋势,这可能是由于随着外界气温的回升,

地膜内的温度升高更快,迫使深层土壤水分上移,在表层聚积,形成提水上升的保墒效应,并使覆膜与对照之间的差异变大;随着土层的加深,20—40 cm 土层的含水量在两种覆膜方式下均明显高于对照,但差异呈减小的趋势。由此可见,在 3 个不同的测定时间,0—20 cm 表层的含水量在两种覆膜方式下均显著高于对照,并随着时间的推移,覆膜与对照之间的差异逐渐增大;而随着土层的加深,覆膜与对照之间的差异呈递减的趋势。在不同的测定时间和不同的土层中,白膜覆盖与黑膜覆盖对土壤含水量的影响均无显著差异。

表 2 不同覆膜方式对杨树林下土壤含水量的影响

%

测定日期	0—20 cm 土层			20—40 cm 土层		
	CK	WM	BM	CK	WM	BM
4月2日	21.35±0.19b	22.09±0.25a	22.34±0.36a	22.16±0.42a	22.35±0.16a	21.93±0.29a
4月16日	20.28±0.37b	22.87±0.45a	22.69±0.23a	20.05±0.45b	21.76±0.31a	22.01±0.15a
4月30日	19.09±0.18b	23.65±0.29a	23.12±0.46a	19.73±0.35b	23.02±0.41a	22.85±0.17a

## 2.3 不同覆膜方式对土壤容重和孔隙度的影响

表 3 显示了覆膜对土壤容重和孔隙度的影响。由表 3 可以看出,在 0—20 cm 土层,同对照相比,不同覆膜方式均显著提高了土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度,而土壤容重却明显降低,白膜和黑膜覆盖分别比对照降低 15.44% 和 9.56%。在两种覆膜方式中,白膜覆盖的土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度明显高于黑膜覆盖,而土壤容重却显著低于黑膜覆盖,说明两种覆膜方式均能明显降低 0—20 cm 土层容重,增加土壤的疏松度,提高土壤通透性,这对促进杨树根系呼吸,增强根系对养分的吸

收能力具有重要意义。在 20—40 cm 土层,白膜和黑膜覆盖的土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度与对照均无显著性差异。与 0—20 cm 土层相比,20—40 cm 土层的容重升高了,但土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度均降低,并且不同处理的各物理性状之间的差异变小。表明随着土层深度的增加,土壤疏松度和通透性变差,并且覆膜对杨树林下深层次土壤物理性状的影响不明显。而在两种不同的覆膜方式中,白膜覆盖处理对土壤物理性状的改善作用要明显优于黑膜覆盖。

表 3 不同覆膜方式对杨树林下土壤容重和孔隙度的影响

土层深度/cm	处理	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	非毛管孔隙度/%	毛管孔隙度/%	总孔隙度/%
0—20	CK	1.36±0.01a	9.69±0.42c	38.99±0.18c	48.68±0.71c
	WM	1.15±0.03c	15.53±0.31a	41.08±0.25a	56.60±0.83a
	BM	1.23±0.03b	12.06±0.27b	40.02±0.36b	52.08±0.75b
20—40	CK	1.43±0.04a	7.70±0.59a	38.34±0.41a	46.04±0.59a
	WM	1.41±0.02a	8.14±0.75a	38.65±0.53a	46.79±0.68a
	BM	1.42±0.02a	7.49±0.48a	38.92±0.45a	46.42±0.36a

## 2.4 不同覆膜方式对土壤呼吸速率的影响

土壤呼吸是土壤中出现生命活动的标志之一,是陆地生态系统碳素循环的主要环节,也是大气二氧化碳浓度升高的关键。覆膜对杨树林下土壤呼吸速率的影响如图 1 所示。由图 1 可见,在 0—20 cm 土层,两种覆膜方式均降低了土壤呼吸速率,其中白膜覆盖与对照的差异未达到显著水平,而黑膜覆盖处理下的土地呼吸速率比对照降低了 28.26%,差异达到显著水平。这可能是由于对照处于裸地状态,杨树的落叶在土壤表层容易形成“小碳库”,从而有利于土壤呼吸速率的提高;而地膜覆盖处理在覆膜之前把杨树落叶已经清理干净,因此阻止了这部分碳源。在 20—40 cm 土层,各处理的土壤呼吸速率均呈下降趋势,并且白膜覆盖、黑膜覆盖与对照之间均无显著差异。这进一步说明无论白膜覆盖还是黑膜覆盖,对土壤的影响作用都是有限的。

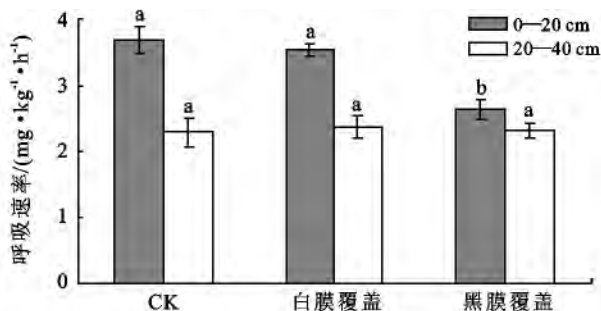


图 1 不同覆膜方式对杨树林下土壤呼吸速率的影响

## 3 结果讨论

### 3.1 不同覆膜处理与土壤物理性质的关系

有研究表明,地膜覆盖能增加早季土壤表层温度 2~3℃,特别是 0—5 cm 土层增温效应特别显著。随着土层的加深,增温效果下降<sup>[8]</sup>。本试验也得出了相似的结论。这主要是由于地膜有如下的增温机制:(1)地膜隔绝了土壤与外界的水分交换,抑制了潜热交换;(2)地膜减弱了土壤与外界的显热交换;(3)地膜及其表面附着的水层对长波反辐射有削弱作用,使夜间温度下降减缓<sup>[11]</sup>。本试验还发现,白膜覆盖的增温效应优于黑膜覆盖,这可能是由于白色地膜的热辐射率能达到 80%~90%,吸收的热量较多;而黑色地膜的热辐射率只有 30%~40%,并且黑色地膜在阳光照射下,本身增温快,但传给土壤的热量较少,故增温作用不如白色地膜。

李世清等<sup>[12]</sup>在冬小麦幼苗期的研究表明,覆膜比不覆膜平均多储水 18.5 mm,整个生育期耕层土壤含水量可提高 1%~4%,并且冬小麦全生育期能减

少蒸发量 100 mm 以上。王俊等<sup>[13]</sup>在春小麦上的研究发现,地膜覆盖对土壤水分时空的再分配具有调控作用,能有效地促进土壤与作物水分的良性循环。本试验研究中也得出了类似的结论:无论白膜还是黑膜覆盖均显著提高了土壤含水量。这可能是由于地膜覆盖在土壤表面设置了一层不透气的物理屏障,使土壤水分垂直蒸发受阻,迫使水分横向运移至无覆盖处或放射性蒸发向开孔处,使蒸发速度相对减缓,总蒸发量大幅度下降,可以有效减少表层土壤水分的蒸发,调节土壤水分的空间与时间分布,增加土壤水分供应的有效性,提高土壤水分利用效率<sup>[14]</sup>。此外,本试验还得出,在 3 个测定时间的前期,由于地温低,覆膜与对照之间的温差较大,而由于裸地的蒸发较小,所以覆膜与对照之间的土壤含水量差距较小;到了中后期,随着外界气温的升高,覆膜与对照的温差越来越小,而裸地的蒸发逐渐增强,从而使覆膜与对照之间的土壤含水量差距在逐渐增大。此外,作物生长发育需要松紧适宜的土壤环境<sup>[15]</sup>,土壤过松过紧都不利,而土壤环境受外界因素影响较大。本研究结果认为,与黑膜覆盖相比,白膜覆盖改善了土壤的物理性状,增大了表层土壤的毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度,减小了土壤容重,使得土壤疏松,通气性加强,这为杨树生长发育提供了良好的土壤物理环境。

### 3.2 不同覆膜处理与土壤呼吸速率的关系

微生物呼吸强度可看作是衡量土壤微生物总活性的指标<sup>[16]</sup>,反映了整个微生物群落(包括休眠状态和活性状态)的活性。前人关于地膜覆盖对土壤呼吸的影响研究结果不尽相同。李世清等<sup>[12]</sup>在春小麦上的研究表明,地膜覆盖能提高土壤的呼吸作用。而有学者<sup>[17]</sup>在玉米方面的研究发现,土壤空气中 CO<sub>2</sub> 浓度随植株生育阶段呈规律性变化,其主要受到植物根系呼吸作用的影响,地表覆膜妨碍了土壤空气与地表空气的交换,增加了土壤 CO<sub>2</sub> 浓度,使土壤微生物的呼吸活性受到了更大的抑制,所以,玉米生育期地膜覆盖处理的土壤呼吸强度一般低于裸地。本试验研究认为,黑膜覆盖处理使杨树的表层土壤呼吸速率明显低于对照。这一方面是由于黑膜覆盖妨碍了土壤空气与地表空气的交换从而导致土壤呼吸降低,另一方面是由于不覆膜处理在杨树生长后期下部落叶、植株残体在土壤表层会形成“小碳库”,使其更新速度快、流通量大,为表层土壤微生物呼吸提供了必要的碳源<sup>[18]</sup>,而覆膜处理阻止了这部分碳源。本试验还发现,白膜覆盖处理的表层土壤呼吸速率虽然低于对照,但并未达到显著水平,这可能是由于白膜覆盖的增温效果较好,并且能更显著地降低土壤容重,增大

土壤孔隙度, 这为土壤呼吸创造了一定的优越环境, 从而对土壤呼吸速率的降低起到了“补偿”效应。

## 4 结论

在两种覆膜方式中, 白膜覆盖的增温效应优于黑膜覆盖, 而对土壤含水量的影响无显著差异。在 0—20 cm 土层, 白膜和黑膜覆盖均显著提高了土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度, 而土壤容重却明显降低, 分别比对照降低 15.44% 和 9.56%; 此外, 白膜覆盖的土壤呼吸速率与对照差异不显著, 而黑膜覆盖显著低于对照。20—40 cm 土层与 0—20 cm 土层表现出基本一致的变化规律, 但两种覆膜方式与对照之间的差异均变小, 表明随着土层的加深, 覆膜对土壤物理性质和呼吸速率的影响越来越小。综合分析认为, 白膜覆盖和黑膜覆盖均能明显改善表层土壤的物理性状, 但黑膜覆盖明显抑制了土壤呼吸。在两种覆膜方式中, 白膜覆盖的作用效果明显优于黑膜覆盖。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张成娥, 梁银丽, 贺秀斌. 地膜覆盖玉米对土壤微生物量的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 508-512.
- [2] 陈永祥, 刘孝义, 刘明国. 地膜覆盖栽培的土壤结构与空气状况研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1995, 26(2): 146-151.
- [3] 员学锋, 吴普特, 汪有科. 地膜覆盖保墒灌溉的土壤水、热以及作物效应研究[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(1): 25-29.
- [4] 李非里, 刘丛强, 杨元根, 等. 覆膜对土壤—青菜体系 Cu 和 Zn 迁移特性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(2): 54-58.
- [5] 宋秋华, 李凤民, 王俊, 等. 覆膜对春小麦农田微生物数量 and 土壤养分的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2125-2132.
- [6] 李兆君, 李万峰, 解晓瑜, 等. 覆膜对不同施肥条件下玉米苗期生长和光合及生理参数的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(2): 360-364.
- [7] 王世绩. 杨树研究进展[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [8] 蔡昆争, 骆世明, 方祥. 水稻覆膜旱作对根叶性状、土壤养分和土壤微生物活性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1903-1911.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 王芸, 李增嘉, 韩宾, 等. 保护性耕作对土壤微生物量及活性的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3384-3390.
- [11] 王树森, 邓根之. 地膜覆盖增温机制研究[J]. 中国农业科学, 1991, 24(3): 74-78.
- [12] 李世清, 李凤民, 宋秋华, 等. 半干旱地区不同地膜覆盖时期对土壤氮素有效性的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1519-1526.
- [13] 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.
- [14] 韩玉平. 崆峒区全膜双垄沟播玉米推广中存在的问题及建议[J]. 甘肃农业科技, 2011(4): 41-43.
- [15] 高绪科, 王文清. 旱地麦田蓄水保墒耕作措施的研究[J]. 干旱地区农业研究, 1991(4): 1-9.
- [16] 刘瑜, 褚贵新, 梁永超, 等. 不同种植方式对北疆绿洲土壤养分和生物学性状的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 465-471.
- [17] 陈锡时, 郭树凡, 汪景宽, 等. 地膜覆盖栽培对土壤微生物种群和生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 1998, 9(4): 435-439.
- [18] 李玉宁, 王关玉, 李伟. 土壤呼吸作用和全球碳循环[J]. 地学前缘, 2002, 9(2): 351-357.