

# 黄土高原半干旱区保护性耕作适应性评价\*

孙利军<sup>1,2</sup> 张仁陟<sup>1\*\*</sup> 黄高宝<sup>3</sup> 蔡立群<sup>1</sup>

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院 兰州 730070; 2. 皖南医学院药理学系 芜湖 240002;  
3. 甘肃农业大学农学院 兰州 730070)

**摘要** 在黄土高原半干旱区连续4年保护性耕作试验的基础上,利用层次分析法,对5种保护性耕作法与传统耕作法适应性(生态与经济)进行综合评价,探究适合黄土高原半干旱区的保护性农业技术体系。结果表明:在两种轮作次序(小麦/豌豆、豌豆/小麦)、两种投入方式(计秸秆和不计秸秆)下,保护性耕作法免耕秸秆覆盖(NTS)综合适应性指数(PI)均显著高于其他几种耕作方式,且PI在0.76~0.86之间,是传统耕作法(T)的2~2.5倍,NTS在该地区的适应性最强;NTS、免耕不覆盖(NT)、免耕结合地膜覆盖(NTP)3种耕作方式的PI高于传统耕作结合秸秆还田(TS)、T、传统耕作结合地膜覆盖(TP),说明NTS、NT、NTP在该区的适应性优于TS、T、TP。因此,在黄土高原半干旱区实施保护性耕作措施NTS,更能促进该区农业的持续发展。

**关键词** 保护性耕作 生态适应性 黄土高原半干旱区 层次分析法

中图分类号:S345 文献标识码:A 文章编号:1671-3990(2008)05-1122-05

## Evaluation of adaptability of conservation tillage in Loess Plateau semi-arid areas

SUN Li-Jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Ren-Zhi<sup>1</sup>, HUANG Gao-Bao<sup>3</sup>, CAI Li-Qun<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;  
2. Department of Pharmacology, Wannan Medical College, Wuhu 240002, China;  
3. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract** To explore the adaptability of conservation tillage in the Loess Plateau semi-arid areas of Gansu Province, a conservation tillage experiment was conducted for 2001 ~ 2005 and the Analytic Hierarchy Process (AHP) used to evaluate the economic and ecological suitability of five conservation tillage methods. The economic and ecological adaptability evaluation shows that no-tillage with straw cover (NTS) is the best among the tillage methods investigated. NTS adaptability ratio (PI) is far higher than the other tillage methods, ranging from 0.76 to 0.84, which is 2 ~ 2.5 times ordinary tillage (T), showing that NTS treatment is more adaptable to the local ecology. PIs for NTS, no-tillage (NT) and no-tillage with plastic cover (NTP) are higher than that for tillage with straw cover (TS), T and tillage with plastic cover (TP). This implies that the adaptability of NTS, NT and NTP is better than that of TS, T and TP. Hence adopting NTS not only increases crop yield or reduces total input, but also enhances sustained development of agriculture in the Loess Plateau semi-arid areas of Gansu Province.

**Key words** Conservation tillage, Ecological adaptability, Loess Plateau semi-arid areas, Analytic hierarchy process (AHP)

(Received Oct. 23, 2007; accepted Dec. 29, 2007)

土壤在农业生产中具有非常重要的作用,人们经常采取各种有效措施来创造和调节土壤条件,以满足植物生长的需求。而在各种措施中,耕作措施对土壤的影响最大。合理的耕作措施不仅能够调节土壤中的水、肥、气、热的关系,为作物生长提供一个适宜的生长环境,还能够保护生态环境,实现生态环境可持续发展。但若长期采用不合理的耕作措施,则会带

来意想不到的灾难性后果。近年来,我国耕地退化,特别是在水土流失极其严重的黄土高原半干旱区。保护性耕作技术<sup>[1-10]</sup>是针对传统耕作弊端而发展起来的一项节水抗旱、保肥增收新技术,它作为一种高产、高效、低耗、保护环境的农业耕作措施,可有效地解决传统耕作所带来的一系列问题。本研究结合保护性耕作在黄土高原半干旱区4年的试验研究,首次

\* 中澳合作项目 ACIAR(LWR2/1999/094)资助

\*\* 张仁陟(1961~),男,教授,博士生导师。E-mail: zhangrz@gsau.edu.cn

孙利军(1979~),男,硕士,助教,研究方向为药用植物。E-mail: slj1226@tom.com

收稿日期:2007-10-23 接受日期:2007-12-29

采用层次分析法<sup>[11]</sup>,对保护性耕作在该区的综合适应性进行评价,旨在探究适合该区的保护性农业技术体系,从而确立该区保护性农业的发展方向。

### 1 试验区基本情况与试验方法

#### 1.1 试区概况

试验于 2001~2005 年在甘肃农业大学定西旱农生态综合试验站实施。试区属中温带偏旱区,平均海拔 2 000 m,年均太阳辐射 592.9 kJ·cm<sup>-2</sup>,日照时数 2 476.6 h,年均气温 6.4 ℃,≥ 0℃ 积温 2 933.5 ℃,≥ 10℃ 积温 2 239.1 ℃,无霜期 140 d。多年平均降水 390.9 mm,年蒸发量 1 531 mm,干燥度 2.53,80% 保证率的降水量为 365 mm,变异系数为 24.3%,为典型的雨养农业区。土壤为典型的黄绵

土,土质绵软,土层深厚,质地均匀,贮水性能良好;0~200 cm 土层土壤容重平均为 1.17 g·cm<sup>-3</sup>,凋萎含水率 7.3%,饱和含水率 21.9%。

#### 1.2 试验材料

春小麦品种为“定西 35”,豌豆为“绿农 1 号”。春小麦播种期为每年 3 月中旬,豌豆为每年 4 月上旬。收获期豌豆为同年 7 月中旬,春小麦为同年 8 月上旬。

#### 1.3 试验设计

试验共设 6 个处理,采用小麦(W)、豌豆(P)双序列轮作(W/P、P/W),每处理 4 次重复,共 48 个小区,小区面积 4 m×20 m,随机区组排列,具体处理方式见表 1。

表 1 试验处理描述

Tab. 1 Treatments description

代码 Code	处理 Treatment	操作方法 Operation
T	传统耕作不覆盖 Tillage	作物收获后至冻结前 3 耕 2 耧,前作收获后 8 月份进行第 1 次耕作,8 月底和 9 月份分别进行第 2、3 次耕作,耕深依次为 20 cm、10 cm 和 5 cm。9 月份第 3 次耕作后耧 1 次,10 月份冻结前再耧 1 次。
NT	免耕不覆盖 No tillage	整个试验期免耕,不覆盖任何材料。
TS	传统耕作结合秸秆还田 Tillage with straw cover	耕作方式同 T,在第 1 次耕作的同时将作物秸秆翻入,秸秆用量平均每年为 3 000 kg·hm <sup>-2</sup> 。
NTS	免耕秸秆覆盖 No tillage with straw cover	整个试验期免耕。从前作收获后至第 2 年整个生育期地面覆盖作物秸秆,秸秆用量平均每年为 3 000 kg·hm <sup>-2</sup> 。
TP	传统耕作结合地膜覆盖 Tillage with plastic cover	耕作方式同 T,最后一次耧地后,采取垄背覆盖地膜,垄背用土取于垄沟,来年用膜侧播种机在垄间播种。
NTP	免耕结合地膜覆盖 No tillage with plastic cover	整个试验期免耕,覆盖及播种的方式同 TP。

### 2 保护性耕作适应性评价体系的建立

#### 2.1 保护性耕作的适应性评价指标确立

层次分析法作系统分析,首先要把问题层次化,根据问题的性质和总体目标将问题分解为不同

的组成因素,并按照因素间的相互关联影响以及隶属关系将因素按不同层次聚合,形成多层次的分析结构模型。保护性耕作适应性评价从生态与经济两个方面评价,共选择 12 个指标,具体见图 1。

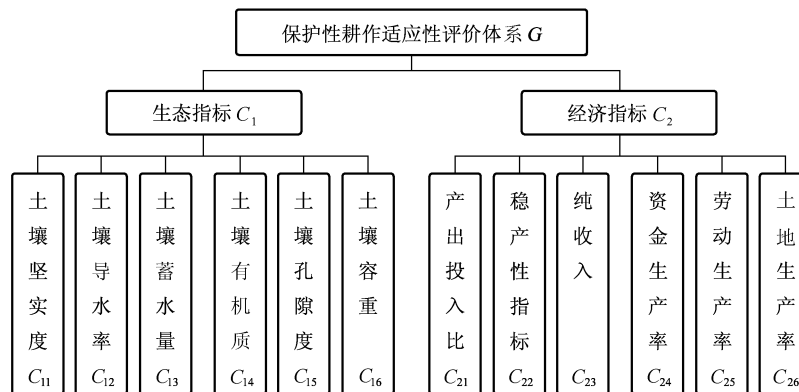


图 1 保护性耕作适应性评价指标层次结构图

Fig. 1 Hierarchy structure of suitability evaluation index of conservation tillage

2.2 评价体系各指标权重确立

通过构造判断矩阵,针对上一层某—指标,对该层相关指标进行两两比较,采用 1~9 及其倒数标度法,将比较结果量化,建立判断矩阵,确定各

指标的权重,对矩阵进行一致性检验,各判断矩阵均具有满意一致性。并利用求组合权重的方法求每一个评价因子相对于目标层 G 的组合权重,具体见表 2。

表 2 评价体系各指标权重  
Tab.2 The weight of the evaluation indexes

生态指标 Ecological index C <sub>1</sub> 0.5			G			经济指标 Economic index C <sub>2</sub> 0.5		
C <sub>1i</sub>	权重 Weight ω	组合权重 Combinational weight ω <sub>1i</sub>	C <sub>2i</sub>	权重 Weight ω	组合权重 Combinational weight ω <sub>2i</sub>			
C <sub>11</sub>	0.064	0.032	C <sub>21</sub>	0.399	0.200			
C <sub>12</sub>	0.149	0.074	C <sub>22</sub>	0.063	0.031			
C <sub>13</sub>	0.308	0.154	C <sub>23</sub>	0.190	0.095			
C <sub>14</sub>	0.330	0.165	C <sub>24</sub>	0.116	0.058			
C <sub>15</sub>	0.074	0.037	C <sub>25</sub>	0.116	0.058			
C <sub>16</sub>	0.074	0.037	C <sub>26</sub>	0.116	0.058			

2.3 保护性耕作适应性评价指标的量化

由于各指标的性质、度量单位、代表意义不同,对指标进行综合评价,须先进行指标无量纲化,即通

过数学变换消除原指标量纲的影响。无量纲的方法很多,本评价采用的是隶属函数法,对各指标去量纲化后的评价值见表 3 和表 4。

表 3 保护性耕作生态适应性评价指标无量纲处理后的评价值  
Tab.3 No-dimension value of ecological indexes of the conservation tillage suitability evaluation

指标 Index	轮作次序 Rotation sequence	最大值 Max. (i)	最小值 Min. (i)	评价值 Evaluating value (U <sub>i</sub> )					
				T	NT	TS	NTS	TP	NTP
0~5 cm 土壤容重 Bulk density of 0~5 cm soil (C <sub>16</sub> )	W/P	1.3 g·cm <sup>-3</sup>	1.1 g·cm <sup>-3</sup>	0.325	0.455	0.595	0.635	0.565	0.31
0~5 cm 土壤总孔隙度 Porosity of 0~5 cm soil (C <sub>15</sub> )	W/P	58%	50%	0.598	0.564	0.966	0.719	0.464	0.208
0~5 cm 土壤饱和和导水率 hydraulic conductivity of 0~5 cm soil (C <sub>12</sub> )	W/P	120 mm·h <sup>-1</sup>	30 mm·h <sup>-1</sup>	0.362	0.132	0.036	1.000	0.097	0.009
0~10 cm 土壤有机质含量 Organic matter of 0~10 cm soil (C <sub>14</sub> )	W/P	1.8%	1.4%	0.106	0.323	0.489	0.959	0.214	0.463
0~50 cm 土壤平均坚实度 Hardness of 0~50 cm soil (C <sub>11</sub> )	W/P	1 100 kPa	700 kp	0.675	0.200	0.288	0.678	0.238	0.210
0~200 cm 土壤平均蓄水量 Water content of 0~200 cm soil (C <sub>13</sub> )	W/P	330 mm	310 mm	0.388	0.665	0.154	0.306	0.232	0.929

3 保护性耕作适应性评价结果

3.1 保护性耕作适应性评价各指标评价结果

利用公式  $P_i = u_i \times w_i$  ( $P_i$  值表示评价中各因子的评价值),采用各评价因子的去量纲后的评价值  $u_i$  与相对于目标层的组合权重值  $w_i$ ,将各个评价因子值  $P_i$  列于下表,具体见表 5、表 6。

3.2 保护性耕作综合适应性评价结果

采用公式  $PI = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i = \sum P_i$  ( $P_i$  表示评价各因子在评价中的最终评价值),对每一处理的各因子进行相加,得到保护性耕作适应性结

果,具体见表 7。 $PI$  值越大,越接近 1,表示这种处理适应性越强。

由表 7 可知,对于保护性耕作综合适应性,不论是哪一个轮作次序,哪一种投入方式,NTS 处理都显著高于其他处理,且  $PI$  值在 0.67~0.86 之间,是 T 处理  $PI$  值的 2~2.5 倍,表明处理 NTS 在该区的适应性最强;各处理的适应性指数  $PI$  值 NTS > NT > NTP > TS > T > TP,其中免耕处理 NTS、NT、NTP 的  $PI$  显著高于传统耕作的 TS、T、TP,均高出 1 倍多,说明免耕在该区的适应性优于耕作。

表 4 保护性耕作适应性评价经济指标无量纲处理后的评价值  
Tab.4 No-dimension values of economical indexes of the conservation tillage suitability evaluation

指标 Index	轮作次序 Rotation sequence	最大值 Max. (i)	最小值 Min. (i)	评价值 Evaluating value ( $U_i$ )					
				T	NT	TS	NTS	TP	NTP
产出投入 1 Output/input 1 ( $C_{21}$ )	W/P	2.3	0.8	0.199	0.547	0.184	0.901	0.056	0.263
	P/W	2.3	0.8	0.330	0.874	0.314	0.995	0.186	0.496
产出投入 2 Output/input 2 ( $C_{21}$ )	W/P	2.3	0.8	0.199	0.547	0.079	0.584	0.056	0.263
	P/W	2.3	0.8	0.330	0.874	0.190	0.657	0.186	0.496
纯收入 1 Pure income 1 ( $C_{23}$ )	W/P	1 850 yuan·hm <sup>-2</sup>	-360 yuan·hm <sup>-2</sup>	0.264	0.542	0.244	0.906	0.002	0.351
	P/W	1 850 yuan·hm <sup>-2</sup>	-360 yuan·hm <sup>-2</sup>	0.466	0.843	0.451	0.998	0.272	0.688
纯收入 2 Pure income 2 ( $C_{23}$ )	W/P	1 850 yuan·hm <sup>-2</sup>	-360 yuan·hm <sup>-2</sup>	0.264	0.542	0.061	0.723	0.002	0.351
	P/W	1 850 yuan·hm <sup>-2</sup>	-360 yuan·hm <sup>-2</sup>	0.466	0.843	0.268	0.814	0.272	0.688
产量波动度 Variation of yield ( $C_{22}$ )	W/P	1.3	0.7	0.650	0.317	0.067	0.667	0.483	0.23
	P/W	1.3	0.7	0.317	0.033	0.717	0.933	0.467	0.18
资金生产率 1 Capital productivity 1 ( $C_{24}$ )	W/P	3.1 yuan·yuan <sup>-1</sup>	1.2 yuan·yuan <sup>-1</sup>	0.326	0.444	0.337	0.875	0.052	0.123
	P/W	3.1 yuan·yuan <sup>-1</sup>	1.2 yuan·yuan <sup>-1</sup>	0.498	0.770	0.513	0.975	0.203	0.344
资金生产率 2 Capital productivity 2 ( $C_{24}$ )	W/P	2.5 yuan·yuan <sup>-1</sup>	1.3 yuan·yuan <sup>-1</sup>	0.326	0.444	0.117	0.462	0.052	0.123
	P/W	2.5 yuan·yuan <sup>-1</sup>	1.3 yuan·yuan <sup>-1</sup>	0.498	0.770	0.252	0.534	0.203	0.344
劳动生产率 Labor productivity ( $C_{25}$ )	W/P	99 yuan·person <sup>-1</sup>	25 yuan·person <sup>-1</sup>	0.036	0.719	0.012	0.831	0.036	0.632
	P/W	99 yuan·person <sup>-1</sup>	25 yuan·person <sup>-1</sup>	0.103	0.986	0.076	0.908	0.118	0.916
土地生产率 Land productivity ( $C_{26}$ )	W/P	2 200 kg·hm <sup>-2</sup>	1 400 kg·hm <sup>-2</sup>	0.303	0.030	0.322	0.757	0.453	0.312
	P/W	2 200 kg·hm <sup>-2</sup>	1 300 kg·hm <sup>-2</sup>	0.649	0.603	0.700	0.940	0.964	0.986

1 指总投入不计秸秆投入 1 means total input does not include the price of crop straw; 2 指总投入计秸秆投入 2 means total input includes the price of the crop straw. 下同 The same below.

表 5 不同处理适应性评价生态指标  $P_i$  值  
Tab.5 The ecological suitability ratio  $P_i$  of different treatments

指标 Index	轮作次序 Rotation sequence	$P_i$					
		T	NT	TS	NTS	TP	NTP
0 ~ 5 cm 土壤容重 Bulk density of 0 ~ 5 cm soil ( $C_{16}$ )	W/P	0.012 0	0.016 8	0.022 0	0.023 5	0.020 9	0.011 5
	P/W	0.016 8	0.016 3	0.017 2	0.017 8	0.016 3	0.009 8
0 ~ 5 cm 土壤总孔隙度 Porosity of 0 ~ 5 cm soil ( $C_{15}$ )	W/P	0.022 1	0.020 9	0.035 7	0.026 6	0.017 2	0.007 7
	P/W	0.023 9	0.025 0	0.034 8	0.025 5	0.018 5	0.022 2
0 ~ 5 cm 土壤饱和导水率 Saturated hydraulic conductivity of 0 ~ 5 cm soil ( $C_{12}$ )	W/P	0.026 8	0.009 8	0.002 7	0.07 4	0.007 2	0.000 7
	P/W	0.028 3	0.014 6	0.026 7	0.048 3	0.006 5	0.009 9
0 ~ 10 cm 土壤有机质含量 Organic matter of 0 ~ 10 cm soil ( $C_{14}$ )	W/P	0.017 5	0.053 3	0.080 7	0.158 2	0.035 3	0.076 4
	P/W	0.025 7	0.061 1	0.052 3	0.138 6	0.040 6	0.035 8
0 ~ 50 cm 土壤平均坚实度 Hardness of 0 ~ 50 cm soil ( $C_{11}$ )	W/P	0.021 6	0.006 4	0.009 2	0.021 7	0.007 6	0.006 7
	P/W	0.008 5	0.011 1	0.013 3	0.016 4	0.026 8	0.022 8
0 ~ 200 cm 土壤平均蓄水量 Water content of 0 ~ 200 cm soil ( $C_{13}$ )	W/P	0.059 8	0.102 4	0.023 7	0.047 1	0.035 7	0.143 1
	P/W	0.068 7	0.123 2	0.093 3	0.123 0	0.062 8	0.108 7

表 6 不同处理适应性评价经济指标  $P_i$  值Tab. 6 The economical suitability ratio  $P_i$  of different treatments

指标 Index	轮作次序 Rotation sequence	$P_i$					
		T	NT	TS	NTS	TP	NTP
产出投入 1	W/P	0.039 8	0.109 3	0.036 8	0.180 1	0.011 1	0.052 6
Output/input 1 ( $C_{21}$ )	P/W	0.066 0	0.174 8	0.062 7	0.199 1	0.037 2	0.099 2
产出投入 2	W/P	0.039 8	0.109 3	0.015 7	0.116 7	0.011 1	0.052 6
Output/input 2 ( $C_{21}$ )	P/W	0.066 0	0.174 8	0.037 9	0.131 5	0.037 2	0.099 2
纯收入 1	W/P	0.024 8	0.051 0	0.022 9	0.085 2	0.000 2	0.033 0
Pure income 1 ( $C_{23}$ )	P/W	0.043 8	0.079 2	0.042 4	0.093 8	0.025 5	0.064 7
纯收入 2	W/P	0.024 8	0.051 0	0.005 7	0.067 9	0.000 2	0.033 0
Pure income 2 ( $C_{23}$ )	P/W	0.043 8	0.079 2	0.025 2	0.076 6	0.025 5	0.064 7
产量振动度	W/P	0.020 2	0.009 8	0.002 1	0.020 7	0.015 0	0.007 2
Variation of yield ( $C_{22}$ )	P/W	0.009 8	0.001 0	0.022 2	0.028 9	0.014 4	0.005 7
资金生产率 1	W/P	0.018 9	0.025 7	0.019 6	0.050 8	0.003 0	0.007 1
Capital productivity 1 ( $C_{24}$ )	P/W	0.028 9	0.044 6	0.029 8	0.056 5	0.011 8	0.019 9
资金生产率 2	W/P	0.018 9	0.025 7	0.006 8	0.026 8	0.003 0	0.007 1
Capital productivity 2 ( $C_{24}$ )	P/W	0.028 9	0.044 6	0.014 6	0.031 0	0.011 8	0.019 9
劳动生产率	W/P	0.002 1	0.041 7	0.000 7	0.048 2	0.002 1	0.036 6
Labor productivity ( $C_{25}$ )	P/W	0.006 0	0.057 2	0.004 4	0.052 7	0.006 9	0.053 1
土地生产率	W/P	0.017 6	0.001 7	0.018 7	0.043 9	0.026 3	0.018 1
Land productivity ( $C_{26}$ )	P/W	0.037 6	0.035 0	0.040 6	0.054 5	0.055 9	0.057 2

表 7 不同处理的综合适应性指数  $PI$  值Tab. 7 The comprehensive suitability ratio  $PI$  of different treatments

轮作次序 Rotation sequence	投入方式 Input methods	$PI$					
		T	NT	TS	NTS	TP	NTP
W/P	综合适应性 1 Comprehensive suitability 1	0.283 1	0.448 9	0.274 8	0.771 0	0.181 5	0.400 7
	综合适应性 2 Comprehensive suitability 2	0.283 1	0.448 9	0.223 7	0.675 4	0.181 5	0.400 7
P/W	综合适应性 1 Comprehensive suitability 1	0.364 1	0.643 1	0.440 1	0.855 1	0.323 3	0.509 1
	综合适应性 2 Comprehensive suitability 2	0.364 1	0.643 1	0.382 8	0.744 7	0.323 3	0.509 1

#### 4 结论

通过对几种耕作措施的综合适应性评价得出,耕作措施免耕秸秆覆盖(NTS)的适应性在几种耕作措施中最好。相对于其他几种耕作措施,免耕秸秆覆盖(NTS)不仅可以提高作物产量、节约劳动力、提高经济效益,还可保水保肥、改良土壤结构、保护环境。因此,在黄土高原半干旱区实施免耕秸秆覆盖(NTS)保护性耕作措施,可以促进该地区农业的可持续发展。

#### 参考文献

- [1] 贾树龙,任图生. 保护耕作研究进展及前景展望[J]. 中国生态农业学报,2003,11(3):152-154
- [2] 贾延明,尚长青,张振国. 保护性耕作适应性试验及关键技术研究[J]. 农业工程学报,2002,18(1):78-81
- [3] 李洪文,高焕文,周兴祥,等. 旱地玉米保护性耕作经济效益分析[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(3):44-49
- [4] 周兴祥,高焕文,刘晓峰. 华北平原一年两熟保护性耕作体系试验研究[J]. 农业工程学报,2001,17(6):81-84
- [5] 逢蕾,黄高宝. 不同耕作措施对旱地土壤有机碳转化的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(3):110-113
- [6] 黄高宝,李玲玲,张仁陟,等. 免耕秸秆覆盖对旱作麦田土壤温度的影响[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(5):1-4,19
- [7] 黄高宝,郭清毅,张仁陟. 保护性耕作条件下旱地农田麦-豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应[J]. 生态学报,2006,26(4):1176-1185
- [8] 辛平,黄高宝,张国盛,等. 耕作方式对表层土壤饱和和导水率及紧实度的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2005,40(2):203-207
- [9] 罗珠珠,黄高宝,张国盛. 保护性耕作对黄土高原旱地表土容重和水分入渗的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(4):7-11
- [10] 孙利军,张仁陟,蔡立群. 黄土高原半干旱区保护性耕作经济适应性评价[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(5):14-19
- [11] 古丽努尔·沙布尔哈孜,尹林克,热合木都拉·阿地拉. 塔里木河中下游退耕还林还草综合生态效益评价研究[J]. 水土保持学报,2004,18(5):80-83