

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2008.02210

河西走廊种植冬油菜的环境效应

王学芳^{1,2} 孙万仓^{1,*} 李孝泽³ 武军艳¹ 马维国⁴ 康艳丽¹ 曾潮武¹
蒲媛媛¹ 叶 剑¹ 刘红霞¹ 曾 军¹ 张亚红¹

(¹ 甘肃农业大学农学院, 甘肃兰州 730070; ² 甘肃农业职业技术学院, 甘肃兰州 730020; ³ 中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃兰州 730000; ⁴ 甘肃畜牧工程职业技术学院, 甘肃武威 733006)

摘 要: 通过田间试验及风洞试验, 对河西走廊的冬油菜、冬小麦、麦茬和春播等 4 种地表类型的有关指标进行测试分析表明, 其中冬油菜地表的覆盖度、土壤含水量、起动风速均为最高, 分别达 95%、11.8% 和 14 m s^{-1} ; 其风蚀模数最小, 仅为春播处理的 1/25; 其距地面 20 cm 高的气流层内, 风蚀物输送量为 $0.113 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$, 是春播地的 1/206; 其地表 1 g 风干土的土壤有机质、碱解 N、速效 P、速效 K、土壤过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶、转化酶活性和微生物数量等的损失量分别是春播地的 1/29、1/8、1/2.6、1/15、1/42、1/11、1/6.5、1/6 和 1/27。可见, 冬油菜在河西走廊等北方地区推广种植, 能有效减少土壤有机质、速效 N、速效 P、速效 K 以及酶活性和微生物等的损耗, 显著减弱农田地表风蚀沙漠化发展, 抑制沙尘暴的尘源供给, 增进生态环境保护和社会经济效益。

关键词: 河西走廊; 冬油菜; 风洞试验; 土壤风蚀

Effects of Environment on Winter Rapeseed in Hexi Corridor

WANG Xue-Fang^{1,2}, SUN Wan-Cang^{1,*}, LI Xiao-Ze³, WU Jun-Yan¹, MA Wei-Guo⁴, KANG Yan-Li¹, ZENG Chao-Wu¹, PU Yuan-Yuan¹, YE Jian¹, LIU Hong-Xia¹, ZENG Jun¹, and ZHANG Ya-Hong¹

(¹ Agronomy College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu; ² Gansu Agricultural Technical College, Lanzhou 730020, Gansu; ³ Key Laboratory of Desert and Desertification, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu; ⁴ Gansu Vocational College of Animal Husbandry Engineering, Wuwei 733006, Gansu, China)

Abstract: The soil erosion has been a severe problem in recent years by the co-effect of global warming and human activities in Hexi Corridor in northwest China, where the bio-climatic zone is of arid desert. This region is also developing desertification and one of the most important source areas of sand storms and dust devils in China. Cultivation by traditional ways of spring sown is a part of reason for soil erosion in the region. It is a trend to change the cultivation system of spring sown into that of winter sown for validating the environmental effect. In the paper, we investigated coverage index, wind erosions modulus, soil water content, nutrients, enzymes, and microbe quantity in different types of soil surface, with the treatments of covered with winter rapeseed, winter wheat, and wheat stubble, as well as treatment of spring seeding in Hexi Corridor via trials, wind tunnel experiments, and lab work. The results showed that the soil surface coverage, soil water content, and starting wind speed for the soil growing winter rapeseed were the highest (95%, 11.8%, and 14 m s^{-1} , respectively), the wind erosion modulus was the lowest, which was only 1/25 of that of spring sown. At the height of 20 cm in wind tunnel, the wind transport quantity for the soil growing winter rapeseed was $0.113 \text{ g m}^{-2} \text{ min}^{-1}$, as much as 1/206 of the treatment with spring seeding. The weight loss for organic matter, alkali-hydrolyzed N, available P and K, catalase, urease, alkaline phosphatase, invertase, and microbe number per gram dry soil in the treatment with winter rapeseed were 1/6, 1/8, 1/3, 1/2.6, 1/15, 1/64, 1/11, 1/6, and 1/26 of those in the treatment with spring sown, respectively. Therefore, It was suggested that planting winter rapeseed in Hexi Corridor can decrease effectively losses of organic matter,

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(3ZS061-A25-076)

作者简介: 王学芳(1964–), 女, 甘肃永登人, 副教授, 博士研究生, 研究方向为油菜遗传育种。

*通讯作者(Corresponding author): 孙万仓(1957–), 甘肃会宁人, 研究员, 博士生导师, 研究方向为油菜遗传育种。Tel: 0931-7673007;

E-mail: wangcangsun@yahoo.com.cn

Received(收稿日期): 2008-04-09; Accepted(接受日期): 2008-06-14.

alkali-hydrolyzed N, available P and K, activities of catalase, urease, alkaline phosphatase, invertase, and microbe of soil, at the same time, can remarkably weaken the wind erosion of farmland, the supply of dust storm, and effectively protect ecological environment.

Keywords: Hexi Corridor; Winter rapeseed; Wind tunnel experiment; Soil erosion

河西走廊属我国西北干旱荒漠生物气候带, 由于全球气候变暖及人为因素的共同作用, 土壤风蚀正在加剧。自 20 世纪 90 年代后期以来, 春季浮尘、扬沙、沙尘暴等频繁发生且强度增大^[1]。该区为我国一年一熟制区, 多在多风干燥的春季进行耙耱、播种等农事活动, 导致地表疏松、水分散失、土壤干燥, 土壤风蚀率加大。众多沙尘来源为沙尘暴灾害的频繁发生创造了条件, 每逢 17 m s^{-1} 以上大风极易形成沙尘暴, 并导致土壤风蚀沙化, 这是目前影响我国北方、特别西北地区最为严重的生态环境问题之一; 而且不断扩展的沙漠化土地也越来越成为农业生产和生态环境建设的重大障碍, 给国民经济和社会发展造成了极大的危害^[5]。国家环保总局和中科院联合发布报告, 河西走廊及阿拉善高原是我国西北 4 个沙尘暴源区中最严重区^[2-4]。秦大河等^[6]提出人类改变土地覆盖和利用对气候、生态环境的影响超过了自然变化的影响; 董光荣等^[7]研究认为栗钙土翻耕地的风蚀量是原生草地的 14.5 倍, 其中人为影响的风蚀量占总风蚀量的 93.1%, 说明风蚀沙化过程的主要影响因素是人为因素; 隋玉柱等^[8]指出风蚀沙化主要发生在春季, 而我国春麦区与沙尘暴源区、路径区、多发区基本重合。杨秀春等^[9]的研究表明土壤风蚀与农田耕作制度具有密切关系, 提出二者的结合将是以后研究的重要方向。刘目兴等^[10]研究认为改春播种植制度为冬作物种植制度已势在必行。孙万仓等^[11]提出冬油菜在西北旱寒区冬春季覆盖效果优于其他农艺措施, 为重要的生态作物, 且具有良好的经济效益。研究该区作物结构和农业生产方式等问题, 对减少沙尘的源区供给、防治土壤风蚀沙漠化, 减弱浮尘、扬沙、沙尘暴, 加强水土保持, 改善保护生态环境均具有重要生态环境意义。因此, 本研究主要通过对冬油菜与麦茬免耕、冬小麦和春播等几种农艺措施对土壤和环境等的影响进行量化比较, 探讨冬油菜的生态效益, 为改善河西走廊作物的布局、结构调整及冬油菜生产发展提供理论指导依据。

1 材料与方法

1.1 试验点的环境条件

该区位于甘肃河西走廊东端, 东经 $102^{\circ}50'00''$,

北纬 $37^{\circ}41'00''$, 海拔 1 760 m, 年均气温 7.8°C , 春季地表裸露且干旱少雨, 蒸发量是降雨量的 12 倍; 全年大于 5 m s^{-1} 起沙风速的日数超过 200 d, 大于 17 m s^{-1} 的大风日数一般为 30~80 d。

1.2 田间试验设计及取样

设冬油菜、冬小麦、麦茬覆盖和春播 4 个处理: (1)冬油菜, 收获前茬小麦后, 耕翻土壤, 8 月 20 日播种甘肃农业大学培育的超强抗寒冬油菜品种陇油 6 号; (2)冬小麦, 收获前茬小麦后, 耕翻土壤, 9 月 7 日播种冬小麦矮脚 7 号; (3)麦茬, 收获小麦后的留茬约 10 cm 高过冬。(4)春播, 收获小麦后深翻土壤, 次年 3 月下旬播种春小麦。其中冬油菜和冬小麦次年 3 月返青, 长势旺盛整齐。

2007 年 4 月 4 日, 在武威黄羊镇甘肃农业大学教学实验场田间取样。首先, 在田间用“S”型选点, 样点剖面深 50 mm, 呈 V 字型取多点混合土样约 1 kg, 一部分装入自封口塑料袋, 冷冻保藏并在 1 周内用于土壤微生物分析测定; 另一部分装入土袋用于土壤有机质及速效 N、速效 P、速效 K、酶的测定, 袋内外注明地表类型及重复采样编号。其次, 现场进行不同处理土壤含水量和覆盖度测定。第三, 在不破坏地表结构的情况下, 用土样箱量取体积为 $30 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 不同处理的土样, 并用塑料薄膜包扎携带。

1.3 风洞试验

在中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室进行风洞试验。风洞全长 37.78 m, 试验段长 16.23 m, 矩形横断面积 $1.0 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$, 四壁平滑, 由多层胶合板和玻璃窗构成。风洞的风速为 $2\sim 40 \text{ m s}^{-1}$ 连续可调(紊流强度在 0.4% 以下), 采用毕托管和测微压力计测量风速。

样箱位于试验段入口下风向 12.06 m 处, 样箱表面与风洞底部齐平。以油菜植株高度 20 cm 为水平方向的设点距离, 分别于样箱中心点处及其前 10、30、50 和 70 cm 及后 10、30 和 50 cm 8 个点处放置多路风速廓线仪测定垂直于地面 0.4、0.6、1.2、2.5、5.0 和 8.0 cm 高处的风速值; 在试验风速分别为 10、14、18 和 22 m s^{-1} 的净风风速下吹蚀 10~5 min, 并用 WITSEG 集沙仪收集 0~2、2~4、4~6、6~8、8~10、

10~12、12~14、14~16、16~18 和 18~20 cm 高处的风蚀量,称重并计算风蚀量、风蚀率、风蚀模数及摩阻速度^[12]。

用感量为 10⁻⁴ g 的电子天平对风蚀前后的样箱称重并计算得风蚀量。

风蚀率(Q)为试验条件下单位时间的风蚀量(单位: g min⁻¹)。

风蚀模数(按每小时计)是不同风速下单位时间单位面积的风蚀量(单位: kg hm⁻² h⁻¹)^[4]。

摩阻速度 $U_H = \text{速度差}/5.75 \times \text{对数高程差}$, 其中,速度差是指任意高度时的风速差值,对数高程差指高度的对数值之差。摩阻速度越大,降低风速的作用越大。

1.4 土壤微生物和酶活性测定

在甘肃农业大学作物栽培与耕作学重点实验室进行。

土壤微生物测定,先取 1 g 风干土样于 99 mL 灭菌水中震荡 20 min,静置片刻,待大颗粒砂石沉淀后,取上层混悬液 1 mL 加 9 mL 无菌水摇匀,依次取 10⁻²、10⁻³和 10⁻⁴土壤浓度的溶液,分别取 10⁻³ mL 接种于牛肉膏蛋白胨、高氏 1 号和马丁氏培养基

上,各重复 3 次,在 24℃ 条件下培养 3 d,分别统计细菌、放线菌、真菌菌落的数量^[13-14]。

用 KMnO₄ 滴定法测定土壤过氧化氢酶活性;用比色法测定脲酶、转化酶和碱性磷酸酶活性,用 7200G 型紫外分光光度计测定吸光度值^[15]。

1.5 土壤理化性状测定

在甘肃农业职业技术学院土壤实验室进行。分别采用重铬酸钾氧化法、碱解扩散法、0.5 mol L⁻¹ 的 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法及 NH₄OAc 浸提火焰光度法测定土壤有机质、速效 N、速效 P 和速效 K^[16]。

2 结果与分析

2.1 不同处理地表的覆盖效应

植被对风蚀过程的干扰表现在植物冠层及其枯叶直接覆盖地表,减弱了覆盖部分土壤水分的蒸发和风蚀作用^[4,17-19]。4 种处理对地表的覆盖、保护效果不同。冬油菜春季地表的覆盖度可达 95%、枯落物干重 252.5 g m⁻²、最大吸水重 1 226.3 g m⁻²、最大蓄水量 973.8 g m⁻²、土壤含水量为 11.8%,均最高,其次是麦茬,再次是冬小麦,春播处理的土壤含水量仅为 4.2%,其余指标均为 0,达最低(表 1)。

表 1 不同地表覆盖处理的效果
Table 1 Effect of coverage in different treatments

处理 Treatment	土壤含水量 Soil water (%)	覆盖度 Coverage rate (%)	枯物干重 Dry-weight of dead plant (g m ⁻²)	最大吸水重 Max water absorption (g m ⁻²)	最大蓄水量 Max water capacity (g m ⁻²)
冬油菜 Winter rapeseed	11.8	95.0	252.5	1226.3	973.8
冬小麦 Winter wheat	8.5	50.2	4.2	17.0	12.8
麦茬 Wheat stubble	10.1	87.4	239.1	879.5	640.4
春播型 Spring seeding	4.2	0	0	0	0

植被覆盖度对贴地层的摩阻速度和水分含量影响不同。在 14 m s⁻¹ 风速下贴地层 12 cm 高处摩阻速度见图 1。其中,低于 4 cm 处冬油菜为 2.24 m s⁻¹、麦茬为 2.16 m s⁻¹、冬小麦为 2.07 m s⁻¹,春播为 0.86 m s⁻¹。

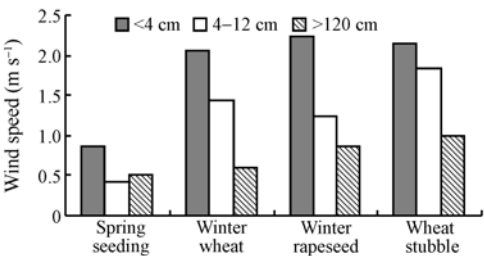


图 1 不同处理的摩阻速度
Fig. 1 Wind speed with frictional resistance in different treatments (14 m s⁻¹)

可见,由于冬油菜植被覆盖度最高,其相应的摩阻速度也达最大,因而降低风速的效果也最好。

土壤含水量因不同处理而有较大变化,冬油菜为 11.8%、麦茬为 10.1%、冬小麦为 8.5%、春播为 4.7%。总的看来,覆盖处理的土壤含水量均较高,一般可达春播处理的 2 倍多,表明这些覆盖对减少土壤水分蒸发或保持土壤水分具有显著的作用。因此,覆盖处理可使土壤含水量提高,进而增强土壤抗风蚀能力。春播处理的地表因无覆盖保护,加之土壤翻耕等农事活动,使土壤表面疏松,在多风的环境下促使大量水分蒸散,从而降低了土壤抗风蚀能力^[2]。

2.2 不同处理地表的启动风速(U_t)

起动风速是沙土粒开始移动的临界风速,它与

表土颗粒的粒径、土壤含水量和植被覆盖度等呈正比关系^[4,20-21]。冬油菜地表的起动风速最大, 为 14 m s⁻¹, 冬小麦和麦茬其次, 分别为 12 m s⁻¹ 和 13 m s⁻¹, 春播最小, 为 6 m s⁻¹。即当春播地的风速超过 6 m s⁻¹、且表土含水量低于 5% 时, 就可产生土壤风蚀, 引起沙尘, 而冬小麦在 12 m s⁻¹、麦茬在 13 m s⁻¹、冬油菜达 14 m s⁻¹ 以上才有可能发生土壤风蚀。可见, 不同覆盖处理均有能较大程度地降低土壤风蚀的作用, 其中以冬油菜覆盖效果最好。

2.3 不同处理地表的贴地层风速

地表覆盖状况对贴地层风速的影响很大。在相同的试验风速和垂直高度下, 覆盖处理和春播处理的平均风速差异显著, 覆盖处理的风速低于 8.5 m

s⁻¹, 远远低于其起动风速, 而春播的平均风速高达 11.3 m s⁻¹, 远远大于其起动风速 6 m s⁻¹, 致使其地表的沙土粒极易被风蚀起尘。春播处理在 10、14、18 和 22 m s⁻¹ 试验风速下, 贴地层 4 mm 高处的风速分别为 4.52、6.22、8.43 和 10.29 m s⁻¹, 而相同条件下覆盖处理地表的相应贴地层风速为 0, 风速明显减弱, 在其他高度上的结果也类似。从降低贴地层风速的高度来看, 覆盖处理在不同高度的差异达极显著水平, 春播处理仅 4 mm 和其他高度差异达显著水平。其中麦茬降低贴地层风速的高度最高达 25 mm, 冬油菜和冬小麦次之, 为 12 mm, 春播最低, 为 4 mm, 且此处的平均风速高达 7.37 m s⁻¹ 而非 0 (表 2)。

表 2 试验风速下不同处理和高度的贴地层风速
Table 2 Wind speed near soil surface at different heights and testing wind speeds in treatments (m s⁻¹)

处理 Treatment		高度 Height						总平均数 Total mean
		4 mm	6 mm	12 mm	25 mm	40 mm	80 mm	
春播型 Spring seeding	10 m s ⁻¹	4.52	7.16	7.20	7.61	8.04	8.57	11.29
	14 m s ⁻¹	6.22	9.67	9.94	10.40	11.19	12.04	
	18 m s ⁻¹	8.43	12.36	12.63	13.16	14.16	15.49	
	22 m s ⁻¹	10.29	14.98	15.19	15.90	17.16	18.64	
	平均数 Mean	7.37*	11.04	11.24	11.77	12.64	13.69	
冬小麦 Winter wheat	10 m s ⁻¹	0	4.90	4.82	6.13	8.74	8.55	8.47*
	14 m s ⁻¹	0	5.27	5.13	8.03	12.89	11.98	
	18 m s ⁻¹	0	8.06	7.74	9.55	13.84	15.83	
	22 m s ⁻¹	0	9.02	9.63	10.21	12.93	18.87	
	平均数 Mean	0**	6.81**	4.58**	8.48	12.10	13.81	
冬油菜 Winter rapeseed	10 m s ⁻¹	0	4.90	4.82	6.13	8.74	8.55	8.01*
	14 m s ⁻¹	0	5.27	5.13	8.03	12.89	11.98	
	18 m s ⁻¹	0	8.06	7.74	9.55	13.84	15.83	
	22 m s ⁻¹	0	9.02	9.63	10.21	12.93	18.87	
	平均数 Mean	0**	6.81**	4.58**	8.48	12.10	13.81	
麦茬 Wheat stubble	10 m s ⁻¹	0	1.76	1.78	5.24	9.00	9.24	6.98*
	14 m s ⁻¹	0	1.43	2.04	7.34	12.40	12.86	
	18 m s ⁻¹	0	2.18	2.53	9.67	16.59	16.97	
	22 m s ⁻¹	0	2.38	4.35	10.72	19.02	19.90	
	平均数 Mean	0**	1.94**	2.66**	8.29**	14.25	14.74	

风速为样箱中心点的风速。* 和** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。
Wind speed was measured at the center point of sample box. * and ** indicate significantly different at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

4 mm 高度处水平方向的测点风速见表 3。方差分析结果表明, 试验风速下覆盖处理与春播处理的风速差异达极显著水平, 覆盖处理的平均风速远远小于春播处理, 其中, 冬油菜处理的风速最小, 为

2.09 m s⁻¹, 春播处理高达 7.23 m s⁻¹。如在样箱前 10 cm 处, 冬油菜在 10、14 m s⁻¹ 种试验风速下的风速均为 0, 而麦茬和冬小麦的风速则较大; 此处的平均风速冬油菜最小, 仅为 1.57 m s⁻¹, 而冬小麦为 5.42

表 3 风洞中 4 mm 高处样箱前后不同测点的风速^{a)}
Table 3 Wind speed of different measuring points around sample box at 4 mm height in wind-tunnel (m s⁻¹)^{a)}

处理 Treatment		测点位置 Measuring points							总平均数 Total mean
		-70 cm	-50 cm	-30 cm	-10 cm	0 cm	+10 cm	+30 cm	
春播型 Spring seeding	10 m s ⁻¹	4.39	4.37	4.48	4.56	4.52	5.23	3.96	7. 23 A
	14 m s ⁻¹	6.25	6.23	6.20	6.18	6.22	7.69	5.34	
	18 m s ⁻¹	8.12	8.02	8.15	7.92	8.43	9.98	7.05	
	22 m s ⁻¹	9.69	9.74	9.85	10.08	10.29	12.07	8.43	
	平均数 Mean	7.11 A	7.09 A	7.17 A	7.19 A	7.37 A	8.74 A	6.20 A	
麦茬 Wheat stubble	10 m s ⁻¹	4.04	3.87	3.40	0.87	0	0	0	2.95 B
	14 m s ⁻¹	6.02	5.54	4.70	3.48	0	0	0	
	18 m s ⁻¹	8.00	7.37	6.34	4.43	0	0	0	
	22 m s ⁻¹	9.24	8.77	7.31	4.61	0	0	0	
	平均数 Mean	6.83 A	6.39 AB	5.44 AB	3.35 B	0 C	0 C	0 C	
冬小麦 Winter wheat	10 m s ⁻¹	3.31	3.14	3.04	3.20	0	0	0	2.59 B
	14 m s ⁻¹	4.47	4.28	4.04	4.69	0	0	0	
	18 m s ⁻¹	5.94	6.03	5.68	6.26	0	0	0	
	22 m s ⁻¹	7.31	7.16	6.95	7.52	0	0	0	
	平均数 Mean	5.72 A	5.15 A	4.92 A	5.42 A	0 B	0 B	0 B	
冬油菜 Winter rapeseed	10 m s ⁻¹	3.42	3.23	2.62	0	0	0	0	2.09 B
	14 m s ⁻¹	4.79	4.63	4.09	0	0	0	0	
	18 m s ⁻¹	6.48	6.26	5.28	1.60	0	0	0	
	22 m s ⁻¹	8.20	7.75	7.07	1.54	0	0	0	
	平均数 Mean	5.72 A	5.47 A	4.77 A	1.57 B	0 B	0 B	0 B	

^{a)} -70、-50、-30 和-10 指样箱前缘(迎风向)距中心点的位置; +10 和+30 指样箱后缘(背风向)距中心点的位置。同列中标以不同字母的值在 0.01 的水平上差异显著。

^{a)} -70, -50, -30, and -10 one the distances from front side of sample box to central point; +10 and +30 one the distances from back side of sample box to central point, respectively. Values within a column followed by a different letter are significantly different at the 0.01 probability level.

m s⁻¹, 麦茬为 3.35 m s⁻¹, 春播最大, 为 7.19 m s⁻¹。在中心点以后 40 cm 的范围内, 覆盖处理的风速均为 0, 春播处理的风速均高于其起动风速。从降低贴地层 4 mm 高处风速的范围来看, 冬油菜最大, 其次是麦茬和冬小麦, 春播处理各测点的风速差异不显著。由此可见, 冬油菜覆盖对降低贴地层风速的效

果最突出, 范围也最大。

2.4 不同处理地表的土壤风蚀模数

风蚀模数是衡量风蚀程度的指标^[4]。覆盖处理和春播处理的风蚀模数间差异达极显著水平(表 4)。即试验风速下风蚀程度最轻的是冬油菜, 为 22.3 kg hm⁻² h⁻¹, 其次是冬小麦, 为 23.3 kg hm⁻² h⁻¹, 麦茬

表 4 风洞试验不同处理地表的风蚀模数
Table 4 Wind erosion modulus at soil surface under different treatments in wind tunnel

处理 Treatment	总风蚀量 Total wind-erosion (g 0.06 ⁻¹ m ⁻²)	集沙仪中风蚀物总量 Total wind-erosion of Jishayi (g m ⁻² min ⁻¹)	风蚀模数 Modulus of wind erosions(kg hm ⁻² h ⁻¹)			
			14 m s ⁻¹	18 m s ⁻¹	22 m s ⁻¹	平均 Mean
春播型 Spring seeding	348.7	23.3	178.0	450.0	1212.8	543.6 A
麦茬 Wheat stubble	42.2	0.2	34.6	82.0	134.0	83.5 B
冬小麦 Winter wheat	21.8	0.1	12.2	26.0	31.8	23.3 C
冬油菜 Winter rapeseed	20.3	0.1	11.2	24.0	31.6	22.3 C

同列中标以不同字母的值在 0.01 的水平上差异显著。

Values followed by a different letter within a column are significantly different at the 0.01 probability level.

为 $83.5 \text{ kg hm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 春播处理最强, 为 $543.6 \text{ kg hm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 。另外, 覆盖处理的风蚀模数随着试验风速的增大, 均先增加(2 倍)而后减缓(1 倍多)的变化, 而春播处理的风蚀模数始终急剧增加(2.5~2.7 倍)。可见, 冬油菜等的春季地表覆盖对减弱土壤风蚀量具有良好的效果。

在距地面 20 cm 的高度内, 从各处理风蚀物的输送量来看, 冬油菜最小, 仅为 0.113 g min^{-1} , 分别为春播、麦茬、冬小麦处理的 1/206、1/1.66 及 1/1.04 倍。综上所述, 冬油菜覆盖在保护土壤表层结构、

减少风蚀量、减少沙尘输送量, 防止浮尘、扬沙等方面的效果尤佳。

2.5 不同处理地表的土壤肥力

从表 5 可见, 春播处理土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶、转化酶及微生物总数损失量均极显著地高于其他覆盖处理。不同覆盖处理间在土壤养分、酶和微生物总数的损失量差异不显著。但冬油菜覆盖处理的土壤养分、酶活性、微生物总量等诸多方面的相对损失量最小。

表 5 不同处理吹蚀前后的土壤养分、酶和微生物总数的损失量均值^{a)}
Table 5 Losses of soil nutrients, enzymes and microbe sum pre-and post-deflation under different treatment^{a)}

处理 Treatment	有机质 Organic matter (%)	碱解 N Alkali-hyd- rolyzed N ($\mu\text{g g}^{-1}$)	速效 P Available P ($\mu\text{g g}^{-1}$)	速效 K Available K ($\mu\text{g g}^{-1}$)	过氧化氢酶 Catalase (mL g^{-1})	脲酶 Urease ($\mu\text{g g}^{-1}$)	碱性磷酸酶 Alkaline phosphates ($\mu\text{g g}^{-1}$)	转化酶 Invertase (mg g^{-1})	微生物总数 Total microbe ($\times 10^5 \text{ 个 g}^{-1}$)
冬油菜 Winter rapeseed	0.31 **	0.59*	2.11*	3.43 **	0.23 **	2.34 **	3.51 **	0.06 **	5.72 **
冬小麦 Winter wheat	0.35 **	0.91*	2.53*	3.64 **	0.14 **	2.52 **	3.83 **	0.05 **	6.26 **
麦茬 Wheat stubble	0.62**	0.63*	2.64*	3.33 **	0.15**	2.37**	3.45**	0.05 **	6.01 **
春播型 Spring seeding	9.00	4.72	5.51	51.42	9.68	26.40	22.76	0.37	154.24

^{a)} 过氧化氢酶: 1 g 土在 25 20 min 使用 $0.05 \text{ mol L}^{-1} \text{ KMnO}_4$ 的毫升数; 脲酶: 1 g 土在 37 24 h 培养后释放氨态氮的微克数; 碱性磷酸酶: 1 g 土在 37 24 h 培养后生成酚的微克数; 转化酶: 1 g 土在 37 23 h 及 38 1 h 后生成葡萄糖的毫克数。微生物总数: 1 g 土中所含的细菌、真菌和放线菌数目总和。

^{a)} Catalase: mL g^{-1} of $0.05 \text{ mol L}^{-1} \text{ KMnO}_4$ enacted at 25 for 20 min in 1 g soil; Urease: $\mu\text{g g}^{-1}$ of $\text{NH}_3\text{-N}$ produced at 37°C for 24 h in 1 g soil; Alkaline phosphatase: $\mu\text{g g}^{-1}$ of Phenol produced at 37 for 24 h in 1 g soil; Invertase: mg g^{-1} of glucose produced at 37 for 23 h and at 38 for 1 h in 1 g soil; Total microbe: Including germs, fungus, and actinomycet in 1 g soil.

3 讨论

理论上, 包括河西走廊在内的我国北方内陆干旱地带大范围农田土壤, 春季气候干旱、多风, 传统的春耕等农事活动, 造成地表疏松、土壤水分、养分等的风蚀程度加大, 而种植冬油菜对土壤的覆盖度较大, 对贴地层风速的减弱效果较好, 对土壤表面的水分保持较好, 使地表沙尘的起动风速由春耕的 6 m s^{-1} 增大到 14 m s^{-1} , 因而可有效地减小土壤表面的风蚀模数, 对土壤水分、养分、母质等具有较好的保持效果。

从本试验来看, 春播处理的地表在大于 6 m s^{-1} 风速情况下, 风蚀发生, 土壤表层养分、水分及母质受损。而冬油菜覆盖处理的土壤有机质、碱解 N、速效 P、速效 K、酶活性、微生物总数的损失量均大大低于春播处理。综合各项指标分析, 以冬油菜覆盖效果最佳。既降低地表风速, 减少土壤水分蒸发, 又

降低地表风蚀模数, 进而减弱土壤养分损失量, 使土壤水分和肥力得到有效保持。据研究^[22-23], 我国因风力侵蚀造成的土壤有机碳流失量每年约为 $59.76 \times 10^6 \text{ t}$, 且主要发生在包括河西走廊在内的我国西部及北部干旱、半干旱的农区和牧区。该地区气候干旱, 水资源短缺, 植被覆盖度低, 尤其是生态环境脆弱和环境变化的敏感区、沙尘源区及土地沙化的潜在或发展区, 开发并扩大冬油菜覆盖种植的范围, 可以有效增加农田地表覆盖度, 减少土壤水分散失、降低贴地层风速, 减小风蚀模数, 从而遏制沙尘源地和土地沙漠化过程的发展。因此, 在河西走廊推广冬油菜种植具有防治沙尘暴和土地沙漠化的重要作用。

已有的保护性耕作措施主要包括秸秆覆盖和免耕少耕播种方式, 已取得巨大的生态和经济效益。在北方 15 个省(区、市)等地示范, 节约用水 15~18 亿立方米、增产粮食 40~120 万吨、减少农田扬尘

60~120万吨、减少水土流失3 000~6 000万吨、节本增收总效益达15~23亿元^[24]。试验表明,冬油菜覆盖对土壤风蚀的防治效果比冬小麦和麦茬等保护性措施更好。

我国北方广大内陆干旱地区为一年一熟制农业区,春季气候干旱、多风,水资源短缺,植被覆盖度低,是生态环境脆弱和环境变化的敏感区,加之传统的春耕春播等农事活动,造成地表疏松、土壤水分、养分等的风蚀和损耗,也是我国沙尘源区及土地沙化的潜在或发展区。因此,开发和利用覆盖作物、采用保护性耕作措施是我国北方、特别是河西走廊等西北部干旱区农业研究的重要课题。

本试验结果表明,冬油菜具有显著的生态和环境保护效果。冬油菜覆盖对土壤风蚀的控制效果优于冬小麦和麦茬等处理。春播处理的地表在大于 6 m s^{-1} 风速情况下,即可发生风蚀,使土壤表层养分、水分损耗。而冬油菜地表的覆盖度、土壤含水量和起动风速均达最高,分别达95%、11.8%和 14 m s^{-1} ,远远大于春播型,也大于冬小麦、麦茬处理;风蚀模数小于冬小麦、麦茬处理,仅为春播处理的1/25;冬油菜地在距地面20 cm高的气流层内,风蚀物输送量为 $0.113\text{ g m}^{-2}\text{ min}^{-1}$,是春播地的1/206;冬油菜地表1 g风干土的土壤有机质、碱解N、速效P、速效K、土壤过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶、转化酶活性和微生物数量等的损失量分别是春播地的1/6、1/8、1/3、1/2.6、1/15、1/64、1/11、1/6和1/26。

冬油菜是一种重要生态经济作物,可以有效增加农田地表覆盖度,减少土壤水分散失、降低贴地层风速,减小风蚀模数,从而遏制沙尘源地和土地沙漠化过程的发展,同时能有效减少土壤有机质、速效N、速效P、速效K以及酶活性和微生物等的损耗,对农业的可持续发展具有重要作用。因此,在河西走廊等我国北方广大干旱、半干旱地区发展冬油菜生产,不但可增加油料作物生产,产生显著的经济效益,而且能显著减轻农田地表风蚀,抑制沙尘暴的尘源供给,减少化学农药用量,具有显著的生态环境效益和社会效益。

4 结论

冬油菜地表的覆盖度、土壤含水量和起动风速均最高,分别为95%、11.8%和 14 m s^{-1} ;其风蚀模数最小,仅为春耕处理的1/25;其距地面20 cm高的气流层内,风蚀物输送量为春播地的1/206;其地表

1 g风干土的土壤有机质、碱解N、速效P、速效K、土壤过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶、转化酶活性和微生物数量的损失量分别是春播地的1/29、1/8、1/2.6、1/15、1/42、1/11、1/6.5、1/6和1/27。冬油菜在河西走廊北方干旱易风蚀地区推广种植,能显著减弱农田地表风蚀沙漠化发展,抑制沙尘暴的尘源供给,增进生态环境保护和经济效益。

致谢:中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室董治宝、吴奇俊、赵爱国、张正偲、李宏、李芳等完成风洞实验,甘肃省农业科学院杨锐菊对本文提出修改意见,谨表谢忱。

References

- [1] Wang S-W(王绍武), Dong G-R(董光荣). Assessment of Environmental Evolvement in Western China (中国西部环境特征及其演变). Beijing: Science Press, 2002. pp 107, 113, 116(in Chinese)
- [2] Dong Y-X(董玉祥), Liu Y-Z(刘玉璋), Liu Y-H(刘毅华). Study of Problems of Desertification (沙漠化若干问题研究). Xi'an: Xi'an Map Press, 1995. pp 123-195(in Chinese)
- [3] Dong Z-B(董治宝), Wang X-M(王训民), Liu L-Y(刘连有). Wind erosion in arid and semiarid China. *J Desert Res* (中国沙漠), 2004, 24(5): 565-569 (in Chinese with English abstract)
- [4] Wu Z(吴正). Blown-Sand Geomorphology and Sand-Control Engineering (风沙地貌与治沙工程). Beijing: Science Press, 2003. pp 23-107 (in Chinese)
- [5] Lu Q(卢琦), Wu B(吴波). Assessment and economic value accounting of desertification disaster in China. *China Popul Environ* (中国人口资源与环境), 2002, 12(2): 29-33(in Chinese with English abstract)
- [6] Qin D-H(秦大河). Assessment of Environmental Evolvement in Western China (Integrated Volume) (中国西部环境演变评估). Beijing: Science Press, 2002. p 30(in Chinese)
- [7] Dong G-R(董光荣), Li C-Z(李长治), Jin J(金炯), Gao S-Y(高尚玉), Wu D(吴丹). Some results about soil wind erosion of wind tunnel experiment. *Chin Sci Bull* (科学通报), 1987, 32(4): 297-301(in Chinese)
- [8] Sui Y-Z(隋玉柱), Yuan H-M(袁汉民). Study on agricultural approaches of preventing sandstorm. *J Desert Res* (中国沙漠), 2004, 24(5): 565-569 (in Chinese with English abstract)
- [9] Yang X-C(杨秀春), Yan P(严平), Liu L-Y(刘连友). Advances and commentaries on wind erosion of soil. *Agric Res Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2003, 21(4): 147-153(in Chinese with English abstract)
- [10] Liu M-X(刘目兴), Liu L-Y(刘连友), Zhang X-X(张小萧), Sun B-Y(孙炳彦), Peng R-Y(彭茹燕). Effects of plowing practices on blown-sand movement near field surface of

- farmland. *J Soil Water Conserv* (水土保持学报), 2007, 21(2): 1–4(in Chinese with English abstract)
- [11] Sun W-C(孙万仓), Ma W-G(马卫国), Lei J-M(雷建民), Wang H-L(王鹤龄), Liu Q(刘秦), Yang R-Y(杨仁义), Wu J-Y(吴俊艳), Wang X-F(王学芳), Ye J(叶剑), Zeng Y(曾军), Zhang Y-H(张亚宏), Kang Y-L(康艳丽), Guo X-J(郭秀娟), Wei W-H(魏文惠), Yang J(杨杰), Pu Y-Y(蒲媛媛), Zeng C-W(曾潮武), Liu H-X(刘宏霞). Studies on feasibility of expanding winter rapeseed northwards into dry-cold regions in northwest China. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2007, 40(12): 1049–1057(in Chinese with English abstract)
- [12] Dong Z-B(董治宝), Sun H-Y(孙宏义), Zhao A-G(赵爱国). WITSEG sampler: A segmented sand sampler for wind tunnel test. *J Desert Res* (中国沙漠), 2004, 24(5): 565–569(in Chinese with English abstract)
- [13] Wang Y(王岩), Shen Q-R(沈其荣), Shi R-H(史瑞和), Huang D-M(黄东迈). Microbial of soil and its effects of environmental *J Nanjing Agric Univ* (南京农业大学学报), 1996, 19(4): 45–51(in Chinese with English abstract)
- [14] Li Y(李昱). Microbiology of Soil (土壤微生物学). Beijing: Science Press, 1996. pp 275–301(in Chinese)
- [15] Zhou K-L(周礼恺). Enzyme of Soil (土壤酶学). Beijing: Press Science, 1987. pp 167–260 (in Chinese)
- [16] Jiangsu Huaiyin Nongye Xuexiao (江苏淮阴农业学校) ed. Fertility of Soil (土壤肥料学). Beijing: China Agriculture Press, 1998. pp 191–192, 204–211
- [17] Dong Z-B(董志宝), Chen W-N(陈渭南), Dong G-R(董光荣). Influences of vegetation cover on the wind erosion of sandy soil. *Acta Sci Circum* (环境科学学报), 1996, 16(4): 442–446(in Chinese with English abstract)
- [18] Shang R-Y(尚润阳), Qi Y-X(祁有祥), Zhao T-N(赵廷宁), Ding G-D(丁国栋). Field Investigation on the influence of vegetation on wind and soil erosion. *Res Soil Water Conserv* (水土保持研究), 2006, 4(3): 37–39(in Chinese with English abstract)
- [19] Mu Q-S(慕青松), Chen X-H(陈晓辉). Relation between threshed wind erosion velocity and vegetation coverage. *J Desert Res* (中国沙漠), 2004, 24(5): 565–569(in Chinese with English abstract)
- [20] Liu Y-Z(刘玉璋), Dong G-R(董光荣). Study of wind-tunnel experiments of the main factors affecting of soil erosion. *J Desert Res* (中国沙漠), 1992, 12(4): 41–44(in Chinese with English abstract)
- [21] Zhang K-C(张克存), Qu J-J(屈建军), Zu R-P(祖瑞平). Research of the characteristics of structure of drifting sand flux and wind velocity profile over Gobi. *Res Soil Water Conserv* (水土保持研究), 2005, 12(1): 54–58(in Chinese with English abstract)
- [22] Luo W-Y(罗万银), Dong Z-B(董治宝). The progress and prospects of research on wind erosion induced soil nutrient and carbon cycling. *Prog Geogr Sci* (地理科学进展), 2005, 24(4): 9–12(in Chinese with English abstract)
- [23] Hu Y-F(胡云锋), Wang S-Q(王绍强), Yang F-T(杨风亭). With act on wing erosion change of soil carbon and preliminary estimate in China. *Geogr Res* (地理研究), 2004, 23(6): 6–10(in Chinese with English abstract)
- [24] Gu Z-Y(顾仲阳). Protective cultivate area over 20 million hectare (保护性耕作面积超过 2000 万公顷). *People's Daily*, on page 14, on 4th of May, 2008(in Chinese)