

宁夏不同种植年限下硒砂瓜土壤干燥化效应研究

赵云鹏^{1,2}, 白一茹^{1,2}, 陆学娥¹, 张兴^{1,2}, 包维斌^{1,2}, 王幼奇^{1,2}

(1. 宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021; 2 宁夏(中阿)旱区资源评价与环境调控重点实验室, 银川 750021)

摘要:通过对压砂地不同种植年限下土壤干燥化效应进行研究,为宁夏中部旱区压砂地可持续发展提供理论依据。在观测压砂3,8,12,16,25 a的土壤含水量的基础上,分析比较不同种植年限下土壤含水量、水分过耗量、干燥化指数、干层厚度等土壤干燥化指标。结果表明:不同年限下0—600 cm的土壤含水量、贮水量和有效贮水量的均值分别为11.24%,936.00 mm和506.27 mm;随种植年限的增加,0—600 cm土层平均土壤含水量、贮水量呈递减趋势,水分过耗量逐渐增大;不同种植年限下土壤剖面含水量随土层深度的增加呈先减小后增大最后逐渐平稳的趋势;压砂地土壤干燥化系数为68.29%~162.36%,平均干层厚度为283.33 cm,以中度和轻度干燥化强度为主;典型相关性分析发现,经纬度、种植年限、粉粒及砂粒含量等环境因子是影响土壤干燥化指数和土壤干层厚度的重要因素。

关键词:土壤干燥化; 种植年限; 典型相关分析; 宁夏中部旱区

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)01-0273-07

Effects of Different Growth Years of Watermelon on Soil Desiccation in Gravel-Sand Mulched Field in Ningxia

ZHAO Yunpeng^{1,2}, BAI Yiru^{1,2}, LU Xue¹, ZHANG Xing^{1,2}, BAO Weibin^{1,2}, WANG Youqi^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Ningxia (China-Arab)

Key Laboratory of Resource Assessment and Environment Regulation in Arid Region, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The study of soil desiccation in different growth years can provide the theory basis for improving the utilization on the gravel-sand mulched field in the arid zone of central Ningxia. Based on observation of soil moisture contents of fields with 3 years, 8 years, 12 years, 16 years and 25 years of gravel-sand mulch in the arid zone of central Ningxia, soil moisture contents, soil water overuse rate, soil desiccation indexes and thickness of desiccated were calculated, analyzed and compared. The Results showed as follows. Mean soil moisture contents, water storage and available soil water storage were 11.24%, 936.00 mm and 506.27 mm in the fields with the gravel-sand mulched under different years of growing watermelon. With the increase of growing years, soil moisture contents, water storage decreased gradually, soil water overuse rate increased gradually in the 0—600 cm soil layer. Soil moisture showed the overall trend that reduced first, then increased and gradually stable in the 0—600 cm soil layer in the fields with different growth years. The soil desiccation index ranged from 70.09% to 162.36%, the average thickness of the desiccated was 283.33 cm, presenting the moderate and mild drying intensities. The canonical correlation analysis showed that environmental factors such as latitude, longitude, growth years, silt and sand content were the significant factors affecting soil desiccation index and thickness of the desiccated layer.

Keywords: soil desiccation; growth years; canonical correlation analysis; in the arid zone of central Ningxia

收稿日期:2018-01-16

修回日期:2018-03-07

资助项目:宁夏大学研究生创新项目“宁夏压砂地土壤干层空间分布及状态模拟”(GIP2017002);国家自然科学基金“宁夏中部旱区压砂地土壤干燥化特征及驱动机制”(41461104);国家自然科学基金“宁南山区人工林草植被与土壤干层互馈机制研究”(41761049);宁夏高等学校项目“宁夏沿黄城市带土壤重金属污染特征及定量溯源研究”(NGY2017015);宁夏青年科技人才托举工程资助项目

第一作者:赵云鹏(1992—),男,山西武乡人,硕士,主要自然地理学研究。E-mail:zyp654951@163.com

通信作者:王幼奇(1984—),男,安徽泾县人,副教授,博士,主要从事水土资源与环境研究。E-mail:wyq0563@163.com

宁夏中部旱区位于黄土高原西部边缘,属荒漠草原气候带,降水少且蒸发旺盛,生态环境十分脆弱^[1]。压砂地是当地农民为对抗恶劣自然环境,利用砾石和粗细砂的混合物作为覆盖材料,依赖天然降水创造出的一种旱作保护性耕作方式^[2-3],在改善土壤环境、抑制水分蒸发、增加雨水入渗等方面具有显著作用^[4-5]。压砂地种植硒砂瓜是宁夏自治区的重点优势产业。硒砂瓜是我国首批国家地理标志保护的农产品之一,也是当地农民脱贫致富的重要支柱产业。但近年来,随着压砂地种植年限的增加,覆盖层的含土量逐渐增加,其抑制蒸发、增加入渗的作用减弱^[4,6],且随着气候干旱化趋势的日益显现,及压砂地作物耗水量的持续提高,该区自然降水、土壤贮水和农作物耗水关系失衡,导致土壤水库深层贮水量显著降低,土壤干燥化现象普遍发生。土壤干燥化的产生会导致硒砂瓜生长衰败,产量波动加剧,同时土壤干燥化的长期存在会阻隔土壤水分垂直入渗,影响陆地水分循环过程,从而阻碍陆地生态系统中的生物小循环和水文大循环,严重影响区域经济发展和生态稳定^[7-13]。因此深入分析压砂地土壤干燥化特征,对于改善压砂地的土壤水分含量,促进压砂地农业可持续发展和当地人民脱贫致富具有重要意义。

近年来,众多专家学者对不同种植年限下土壤干燥化现象进行研究。罗珠珠等^[9]在陇中黄土丘陵沟壑区、李玉山等^[14]在渭北旱塬, Li等^[15]在黄土塬区,程积民等^[16]在宁南黄土丘陵区对不同种植年限下苜蓿地土壤水分进行研究,发现随着苜蓿种植年限的增加,土壤含水量逐渐减少,干燥化程度明显加剧。包睿等^[17]渭北旱塬,曹裕等^[18]在黄土塬区和丘陵区,李青花等^[19]在黄土丘陵区对不同种植年限下苹果林地土壤干燥化特征进行研究,发现土壤干燥化程度随种植年限的增加而增加,增速先快后慢,局部地区干层厚度达到15 m以下。程积民等^[20]在宁南黄土丘陵区,刘丙霞等^[21]在黄土沟壑区对不同种植年限下柠条林地土壤干燥化特征进行研究,发现随着种植年限的延长,干燥化程度呈先增加后减少的趋势,其拐点约出现在20 a左右。综上可知,种植年限是影响土壤干燥化的重要因素。虽然众多专家对不同种植年限对土壤干燥化的影响研究较为深入,但针对宁夏中部旱区压砂地不同年限下土壤的干燥化研究较少。因此本文以宁夏中部旱区压砂地为研究对象,通过对不同种植年限下土壤水分剖面分布特征进行实地观测,分析比较土壤含水量、水分过耗量、干燥化指数、干层厚度等土壤干燥化指标,揭示宁夏

中部旱区压砂地不同种植年限下土壤干燥化特征及其区域分布规律,为宁夏中部旱区压砂地可持续利用提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏中部环香山地区(104°57′22″—105°14′38″E, 36°58′48″—37°06′43″N)海拔1 620.8~1 872.4 m,属荒漠草原气候带,夏季酷热,冬季寒冷,气候干燥,年均气温13.5℃,≥10℃积温2 398℃,无霜期149~171 d。年均降水量247 mm,年均蒸发量2 250 mm。土壤为黄绵土,土质疏松,质地均匀,容重为1.38 g/cm³,土壤田间持水量在0—600 cm的均值为17.45%,土壤稳定湿度在0—600 cm的均值为10.47%,凋萎湿度在0—600 cm的均值为4.89%。

1.2 试验设计

以西瓜地为研究对象,根据种植年限调查状况,于2017年3月在研究区内,分别选取3, 8, 12, 16, 25 a压砂地进行深层土壤水分测定,样点的土壤基本物理性质见表1。采用直径为5 cm土钻采集土壤样品,并将采集好的土壤样品依次放入铝盒和自封袋中,分别用于测定土壤含水量和粒径,取样间隔在0—100 cm内,每10 cm取样一次,100 cm以下,每20 cm取样一次,采样深度为600 cm。同时,在每个样点的附近(<1 m)选点,环刀采集原状土(0—20 cm)样品1个,用于土壤表层物理性质测定。土壤含水量用烘干法测定;土壤容重、饱和含水率和饱和导水率由环刀法测定;砂粒、粉粒、黏粒含量采用MS 3 000激光粒度仪测定,分类标准参照美国制,分为黏粒(0~0.002 mm)、粉粒(0.002~0.05 mm)和砂粒(0.05~2 mm);田间持水量(FC)和凋萎系数(WM)运用RETC软件对土壤容重、黏粒、粉粒及砂粒含量进行拟合,获取 Q_r , Q_s , a , n , m 等参数后,分别计算0.3 MPa和15 MPa时对应的土壤含水量获得。

由于土壤水分(特别是表层土壤水分)与灌溉措施、降雨的关系密切,虽然采样时间在3月,减少了雨季对土壤水分的影响,但由于不同区域的灌溉措施不同所得到的结果可能会存在一定差异。为了减小灌溉和降水对本研究结果的影响,在充分考虑当年灌溉措施、降水量和黄土高原土壤水分入渗补给相关研究成果的基础上,我们在分析土壤干层状况时不考虑表层0—60 cm的水分数据。

1.3 测定项目与方法

土壤含水量采用烘干法测定。

$$SW = SM \times BD \times D \quad (1)$$

式中:SW 为土壤贮水量;SM 为土壤含水量;BD 为土壤容重;*D* 为土层深度(cm)。

$$SW_e=SW-WM \tag{2}$$

式中:SW_e 为土壤有效贮水量;WM 为凋萎湿度,是指当植物因根系无法吸水而发生永久萎焉时的土壤含水量,它是植物利用土壤水分的下限。

表 1 不同种植年限下压砂地土壤表层的基本物理性质比较

样点号	种植年限	容重/ (g·cm ⁻³)	饱和导水率/ (mm·min ⁻¹)	饱和含水量/%	田间持水量/%	黏粒/ %	粉粒/ %	砂粒/ %
1	3 a	1.46	0.089	30.44	19.61	10.99	66.06	22.97
2		1.32	0.046	33.81	19.83	12.81	70.98	16.19
3		1.52	0.034	24.55	20.14	11.93	70.72	17.33
4		1.32	0.013	35.72	23.12	12.59	69.99	17.43
5	8 a	1.25	0.126	39.09	22.39	11.71	70.42	17.87
6		1.45	0.056	27.52	19.49	9.68	63.11	27.21
7		1.29	0.036	40.17	20.51	8.98	75.34	15.67
8		1.40	0.269	25.28	17.16	11.49	68.03	20.48
9	12 a	1.44	0.921	30.80	16.89	13.00	63.94	23.06
10		1.52	0.151	23.49	14.69	11.68	56.25	32.05
11		1.34	0.119	37.67	15.52	9.46	60.17	30.37
12		1.31	0.186	44.92	18.21	9.64	71.15	19.19
13	25 a	1.39	0.021	21.43	15.14	7.38	43.55	49.05
14		1.45	0.034	28.96	20.49	6.53	49.62	43.85
15		1.35	0.053	32.26	19.54	11.55	62.22	26.24

$$SW_r=SSM-SW \tag{3}$$

式中:SW_r 为土壤水分过耗量;SSM 为土壤稳定湿度,是在气候、土壤质地、自然植被等因素的综合作用下,土壤能长期维持的湿度。通常作为判断土壤干燥化的上限指标,其值约为田间持水量的 50%~70%。本研究中统一取值为 60%。

$$SDR=SW_r/GY \tag{4}$$

式中:SDR 为土壤干燥化速率(mm/a);GY 为压砂年限。

1.4 土壤干燥化强度评价方法

为了更好的描述不同种植年限下压砂地土壤干燥化强度及其剖面分布特征,借鉴文献^[9,22-24]提出的土壤干层厚度(DSLT)、干层内的平均剖面土壤含水量(DSL—SWC)、土壤干层在剖面上的起始形成深度(DSLFD)和干燥化指数(SDI)来定量评价土壤的干燥化强度,DSL_T 即土壤剖面上含水量小于土壤稳定湿度的土层厚度;DSL—SWC 即当 DSL_T 确定后,位于该层次内的平均含水量;DSL_{FD} 即位于降雨和灌溉渗深以下的剖面水分含量小于土壤稳定湿度的第一个测定点;SDI 为某一土层可供植物吸收利用的含水量占该层土壤有效含水量的百分比,表达为:SDI=(SM—WM)/(SSM—WM)×100%。

依据 SDI 的大小,通常将土壤干燥化强度划分

为 6 级:(1) 若 SDI >100%,为无干燥化;(2) 若 75%≤SDI≤100%,为轻度干燥化;(3) 若 50%≤SDI≤75%,为中度干燥化;(4) 若 25%≤SDI≤50%,为严重干燥化;(5) 若 0%≤SDI≤25%为强烈干燥化;(6) 若 SDI <0,为极度干燥化。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限下压砂地土壤含水量比较

从表 2 可以看出,在宁夏中部旱区,随硒砂瓜种植年限的增加,0—600 cm 土层平均含水量、贮水量、有效贮水量均呈递减趋势,分别由种植 3 a 的 13.94%,1 196.08 mm,791.19 mm 降低到 25 a 的 9.00%,756.24 mm,326.51 mm。土壤水分过耗量随着种植年限的增加逐渐增大,由种植 3 a 的无过耗量变为 25 a 的 103.22 mm。年均土壤干燥化速率以 16 a 最大,之后呈逐渐减少趋势,说明在土壤水分充足的时期,硒砂瓜耗水较为强烈,干燥化速率快,而当土壤发生干燥化后,供水减少,硒砂瓜耗水随之减少,干燥化速率逐渐减小。通过对不同种植年限下土壤含水量进行方差分析,结果表明不同种植年限下土壤含水量和贮水量存在显著差异(*p*<0.05)。其中,种植 3 a 与 16 a,25 a 的土壤含水量均存在显著差异

($p<0.05$),这可能与压砂地覆盖层的含土量逐渐增加有关;种植 12 a 与其余种植年限下土壤含水量差异不显著。种植 3 a 与 8 a,12 a 的土壤贮水量差异不显著,和 16 a,25 a 存在显著差异($p<0.05$),这与不同种植年限下土壤含水量方差分析结果存在一定差异,可能与样点土壤容重不同有关。

从 0—60 cm 土层来看,平均土壤含水量、贮水

量、有效贮水量均以种植 3 a 压砂地最高,分别为 15.00%,128.66 mm,85.69 mm,其次为 8 a,25 a,12 a 和 16 a,这与 0—600 cm 的趋势不同,这可能与自然环境存在一定差异有关。从 60—600 cm 土层来看,平均土壤含水量、贮水量、有效贮水量均以种植 3 a 地最高,分别为 13.82%,1 067.42 mm 和 680.66 mm,其次为 8 a,12 a,16 a 和 25 a,这与整体含水量的趋势相一致。

表 2 不同种植年限下压砂地 0—600 cm 土层土壤含水量比较

种植年限	土层深度/cm	土壤含水量/%	土壤贮水量/mm	有效贮水量/mm	水分过耗量/mm	干燥化速率/(mm·a ⁻¹)
3 a	0—60	15.00	128.66	85.69	—	—
	60—600	13.82	1067.42	680.66	—	—
	0—600	13.94±0.97a	1196.08±48.94a	766.35	—	—
8 a	0—60	14.64	117.69	74.72	—	—
	60—600	12.12	877.31	490.55	—	—
	0—600	12.38±1.87ab	995.00±150.49ab	565.27	—	—
12 a	0—60	12.75	105.55	62.58	—	—
	60—600	11.31	842.31	455.55	—	—
	0—600	11.46±2.28abc	947.86±271.36ab	518.13	—	—
16 a	0—60	11.58	96.58	53.61	—	—
	60—600	9.24	688.22	301.46	—	—
	0—600	9.41±0.78bc	784.80±60.43b	355.07	—74.66	4.67
25 a	0—60	13.72	115.24	72.27	—	—
	60—600	8.48	641.00	254.24	—	—
	0—600	9.00±1.15c	756.24±87.91b	326.51	—103.22	4.12
年限均值	0—600	11.24	936.11	531.22	—	—
	0—60	18.52	153.35	110.38	—	—
	60—600	17.33	1291.43	904.67	—	—
田间持水量	0—600	17.45	1444.78	1015.05	—	—
	0—60	5.19	42.97	—	—	—
	60—600	4.86	386.76	—	—	—
凋萎湿度	0—600	4.89	429.73	—	—	—
	0—60	11.11	91.99	49.02	—	—
	60—600	10.40	775.01	388.25	—	—
土壤稳定湿度	0—600	10.47	867.00	437.27	—	—

注:不同小写字母者表示处理在 $p<0.05$ 水平差异显著。

2.2 不同种植年限下压砂地土壤含水量剖面分布特征

宁夏中部旱区黄土层较厚,地下水位较深,因此土壤水分没有地下水的补给,土壤含水量主要受灌溉、降水入渗、土壤蒸发及植物蒸腾等因素的影响。宁夏中部旱区不同种植年限下压砂地 0—600 cm 土层土壤含水量剖面分布特征如图 1 所示,并以田间持水量、土壤稳定湿度和凋萎湿度作为参照。由图 1 可知,不同种植年限下压砂地土壤剖面含水量随土层深度的增加呈先减小后增大最后逐渐平稳的趋势。在 0—60 cm 土层中,

不同种植年限下土壤剖面含水量随深度的增加而迅速降低,土壤干湿交替明显,其主要原因是该层土壤受外界自然条件影响较大,能接受更多水分补给,同时也是植物根系分布的主要层次,受到植被蒸散和土壤物理蒸发的强烈影响,土壤湿度变化剧烈^[22]。在 60—600 cm 土层中,土壤含水量随深度的增加呈先增加后平稳的趋势,其主要原因是由于西瓜为一年生植物,植物根系少,深度浅,对土壤水分消耗主要集中在浅层,土壤深层含水量主要受土壤质地的影响,变化较小。同时通过

对比不同种植年限下的土壤含水量剖面,发现其土壤剖面含水量总体上表现为 3 a>8 a>12 a>16 a>25 a。种植 3 a 的压砂地土层含水量均高于当地土壤稳定湿度;种植 8 a,12 a 和 18 a 的压砂地仅在 90—100 cm,200—240 cm,70—240 cm 和 80—300 cm,400—480 cm 土层含水量低于当地土壤稳定湿度,最大耗水深度分别为 240 cm,240 cm 和 500 cm;种植 25 a 的压砂地在除在 0—60 cm 和 280—320 cm 外,其余土层均低于当地土壤稳定湿度,最大耗水深度超过 600 cm,土壤水分消耗较严重。

2.3 不同种植年限下压砂地土壤干燥化强度评价

不同种植年限下压砂地 60—600 cm 土层土壤干燥化强度及其干层厚度见表 3,可以看出种植 3 a,8 a,12 a,16 a 和 25 a 的分别为 162.36%,129.03%,116.58%,92.85%和 70.09%,平均干燥化系数为 114.18%。3 a 的压砂地的干层起始厚度为 90 cm,干层厚度为 100 cm,干层内平均含水量为 9.26 mm,主要耗水土层位于 90—120 cm;8 a 的压砂地的干层起始厚度为 70 cm,干层厚度为 196.67 cm,干层内平均含水量为 8.51 mm,主要耗水土层位于 90—100,200—240 cm;12 a 的压砂地的干层起始厚度为 90 cm,干层厚度为 340 cm,干层内平均含水量为 8.32 mm,主要耗水土层位于 70—120,160—240 cm;16 a 的压砂地属于轻度干燥化程度,干层起始厚度为 70 cm,干层厚度为 353.33 cm,干层内平均含水量为 8.72 mm,主要耗水土层位于 70—300,380—520 cm;25 a 的压砂地属于中度干燥化程度,干层起始厚

度为 70 cm,干层厚度为 426.67 cm,干层内平均含水量为 7.78 mm,主要耗水土层位于 60—280,320—600 cm。5 种压砂年限下土壤以中度和轻度干燥化强度为主,干层起始厚度为 76 cm,干层厚度超过 283.33 cm,干层内平均含水量为 8.52 mm。总之,随着压砂地种植年限的增加,土壤干燥化指数逐渐降低,干燥化强度和干层厚度逐渐增加。

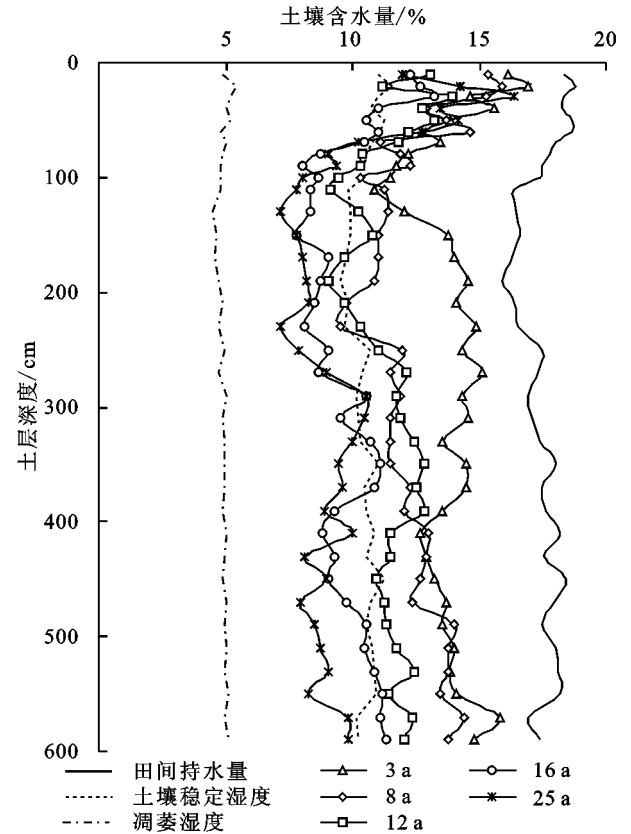


图 1 不同种植年限下压砂地土壤含水量剖面分布特征比较

表 3 不同种植年限下压砂地土壤干燥化强度及其土壤干层厚度

干燥化指标	3 a	8 a	12 a	16 a	25 a	均值
平均干燥化指数/%	162.36	129.03	116.58	92.85	70.09	114.18
土壤干燥化强度	—	—	—	轻度	中度	—
极度干燥层/cm	0	0	0	0	0	0
强烈以上干燥层/cm	0	0	6.67	0	33.33	8
严重以上干燥层/cm	6.67	23.33	46.67	60	213.33	70
中度以上干燥层/cm	26.67	83.33	166.67	200	320	159.33
土壤干层厚度/cm	100	196.67	340	353.33	426.67	283.33
干层起始厚度/cm	90	70	90	70	60	76
干层内平均含水量/%	9.26	8.51	8.32	8.72	7.78	8.52

2.4 压砂地土壤干燥化指标与环境因子的典型相关性分析

设环境因子为变量 x ,其中经度为 x_1 ,纬度为 x_2 ,高程为 x_3 ,种植年限为 x_4 ,土壤容重为 x_5 ,粉粒含量为 x_6 ,砂粒含量为 x_7 ;土壤干燥化指标为变量

y ,其中干燥化指数(SDI)为 y_1 ,干层厚度(DSLT)为 y_2 ,干层起始形成深度(DSLFD)为 y_3 ,干层内土壤平均含水量(DSL-SWC)为 y_4 ,应用典型相关分析对二者关系进行分析,得到 4 组典型变量,其中 U 表示环境因子综合指数, V 表示土壤干燥化指标,其相关

系数分别为 $\lambda_1 = 0.984^{**}$ 、 $\lambda_2 = 0.917$ 、 $\lambda_3 = 0.704$ 、 $\lambda_4 = 0.438$, 只有第一组达到极显著水平, 其余均未达到显著水平。通过对土壤干燥化指标与环境因子进行典型相关分析, 得到其典型变量的线性组合为: $U_1 = 2.22x_1 + 1.37x_2 - 1.17x_3 - 1.82x_4 - 0.56x_5 - 6.10x_6 - 4.88x_7$; $V_1 = -1.25y_1 - 2.11y_2 + 0.36y_3 - 0.68y_4$ 。在 U_1 各系数中经纬度、种植年限、粉粒及砂粒含量等环境因子起决定性作用, 在 V_1 各系数中起决定性作用的干燥化指数 (SDI) 和土壤干层厚度 (DSLTD), 说明植被类型、种植年限、粉粒及砂粒含量等环境因子与土壤的干燥化指数 (SDI) 和土壤干层厚度 (DSLTD) 关系密切 (图 2)。

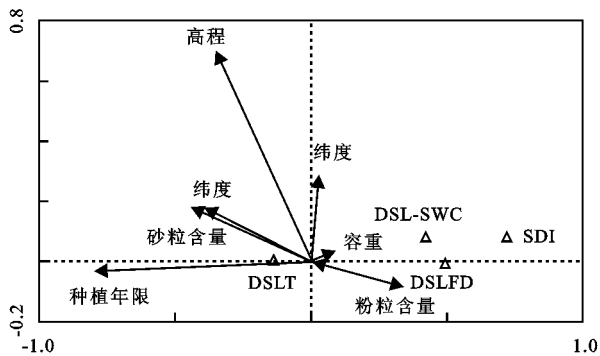


图 2 土壤干燥化指标与环境因子的典型相关关系

3 讨论

环香山地区是宁夏中部旱区的核心区域, 通过对该区不同年限下压砂地土壤含水量进行研究发现, 该区农田 (西瓜) 土壤含水量、贮水量及有效贮水量均值分别为 11.24%, 936.00 mm 和 506.27 mm, 均明显低于黄土高原南部半湿润区的土壤含水量, 说明干旱少雨, 蒸发旺盛的气候环境是影响土壤水分含量的重要原因^[23]。通过对不同种植年限下压砂地土壤剖面含水量进行研究发现, 土壤含水量的极大值出现在 0—30 cm 土层内, 这主要是由于在 30 cm 处存在坚硬的犁底层, 阻碍土壤水分交换, 其下土层受灌溉和降雨等因素影响较小, 且植被根系对土壤水分的强烈吸收也会导致土壤水分含量形成上高下低的情况^[24]。通过对比不同种植年限下压砂地土壤剖面含水量, 发现随着种植年限的增加, 含水量的最大值逐渐下移, 其主要原因是由于随着种植年限增加, 砂石层的含土量增加, 其抑制蒸发能力减弱, 更易受到风吹日晒的影响, 土壤表层水分蒸发明显^[25]。

通过对宁夏中部旱区不同种植年限下压砂地土壤干燥化现象进行研究发现, 随着种植年限的增加, 土壤干燥化指数逐渐降低, 干燥化强度和干层厚度逐

渐增加。主要原因表现在作物耗水和降水渗透两方面, 一方面由于西瓜在生长期内的强烈耗水导致根层出现水分亏缺现象, 在土壤水势梯度的作用下, 下层土壤水分通过毛管悬着水自下而上运动逐渐弥补根系附近的水分亏缺, 导致土壤出现干燥化现象^[26-27]。另一方面该区域降水少, 水分下渗深度浅, 同时随种植年限的增加, 砂石层含土量的增加, 削弱了其截留雨水, 增加下渗量和下渗深度的作用, 难以对土壤干燥层形成有效的补充, 加剧了该区域的土壤干燥化程度。除此之外, 植物生长状况、地形地貌、集水措施和农田管理措施等因素均是影响压砂地土壤水分状况的重要因素, 具体情况还需要进一步研究^[18]。

宁夏中部旱区压砂地土壤干燥化现象究其根本原因是由于该区自然降水偏少、蒸发蒸腾作用旺盛和植物强烈耗水, 导致土壤水分负平衡, 亏缺到一定程度的结果。研究发现, 随着种植年限的增加, 压砂地土壤强度逐渐增加, 种植 25 a 压砂地呈现出较明显的干燥化现象。土壤干燥化的出现会使土壤深层贮水量显著降低, 压砂地作物生长衰败, 产量波动性加剧。如果不加以治理, 长期以来, 会导致干燥化程度加剧和永久性土壤干层形成, 土壤水库效应减弱, 甚至消失, 植物生长将完全依赖于自然降水, 作物产量随降水波动加剧, 并呈逐渐减少趋势, 最终会失去生产利用价值^[28]。

4 结论

(1) 在宁夏中部旱区, 随晒砂瓜种植年限的增加, 土壤平均含水量、贮水量、有效贮水量呈递减趋势, 土壤水分过耗量逐渐增大, 干燥化速率以 16 a 最大。在 0—600 cm 土层内, 土壤剖面含水量随深度的增加呈先减小后增大后逐渐平稳的趋势, 其主要原因与土壤表层水分受自然降水、植被蒸散和土壤蒸发的强烈影响, 土壤深层水分主要受土壤质地的影响有关。

(2) 在宁夏中部旱区, 不同种植年限下压砂地土壤以中度和轻度干燥化强度为主, 其土壤干燥化强度和干层厚度均随种植年限的增加逐渐增加。通过对压砂地土壤干燥化指标与环境因子进行分析发现, 经纬度、种植年限、粉粒及砂粒含量是影响土壤干燥化指数和土壤干层厚度的重要因素。

参考文献:

- [1] 王占军, 蒋齐, 何建龙, 等. 宁夏环香山地区压砂地土壤肥力特征分析[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 201-204.

- [2] Yang Q, Wang Y, Xie Z. Long-term gravel-sand mulch affects soil physicochemical properties, microbial biomass and enzyme activities in the semiarid Loess Plateau of North-western China[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 2014, 64(4):294-303.
- [3] 余海龙, 黄菊莹. 砂田砾石覆盖对土壤大孔隙特征及其土壤水文过程的影响研究进展[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(4):281-288.
- [4] 赵文举, 马宏, 徐裕, 等. 模拟降雨条件下压砂地土壤水分入渗规律研究[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(4):79-84.
- [5] Lu H, Yu Z, Horton R, et al. Effect of gravel-sand mulch on soil water and temperature in the semiarid Loess Region of Northwest China[J]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2013, 18(11):1484-1494.
- [6] 王金牛, 谢忠奎, 郭志鸿, 等. 砂田退化对土壤温度和蒸发影响的模拟研究[J]. *中国沙漠*, 2010, 30(2):388-393.
- [7] Wang Y, Shao M, Liu Z. Large-scale spatial variability of dried soil layers and related factors across the entire Loess Plateau of China[J]. *Geoderma*, 2010, 159(1):99-108.
- [8] Shen Y Y, Li L L, Wen C, et al. Soil water, soil nitrogen and productivity of lucerne-wheat sequences on deep silt loams in a summer dominant rainfall environment [J]. *Field Crops Research*, 2009, 111(1):97-108.
- [9] 罗珠珠, 李玲玲, 牛伊宁, 等. 陇中黄土高原半干旱区苜蓿地土壤干燥化特征及适宜种植年限[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(10):3059-3065.
- [10] 邵明安, 贾小旭, 王云强, 等. 黄土高原土壤干层研究进展与展望[J]. *地球科学进展*, 2016, 31(1):14-22.
- [11] Chen H, Shao M, Li Y. Soil desiccation in the Loess Plateau of China[J]. *Geoderma*, 2008, 143(1):91-100.
- [12] 潘占兵, 张龙, 杨瑞, 等. 黄土高原土壤旱化研究综述[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(6):287-291.
- [13] 缪凌, 董建国, 汪有科, 等. 黄土丘陵区不同土地利用类型下的深层土壤水分变化特征[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(2):14-18.
- [14] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. *土壤学报*, 2002, 39(3):404-411.
- [15] Li L L, Huang G B, Zhang R Z, et al. Effects of lucerne removal time on soil water and productivity in a lucerne-wheat rotation on the western Loess Plateau [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(4):686-693.
- [16] 程积民, 万惠娥, 王静. 黄土丘陵区紫花苜蓿生长与土壤水分变化[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(3):435-438.
- [17] 包睿, 邹养军, 马锋旺, 等. 种植年限及密度对渭北旱塬苹果园深层土壤干燥化的影响[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(15):143-149.
- [18] 曹裕, 李军, 张社红, 等. 黄土高原苹果园深层土壤干燥化特征[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(15):72-79.
- [19] 李青华, 张静, 王力, 等. 黄土丘陵沟壑区山地苹果林土壤干化及养分变异特征[J]. *土壤学报*, 2018, 55(2):503-514.
- [20] 程积民, 万惠娥, 王静, 等. 半干旱区柠条生长与土壤水分消耗过程研究[J]. *林业科学*, 2005, 41(2):37-41.
- [21] 刘丙霞. 黄土区典型灌丛植被土壤水分时空分布及其植被承载力研究[D]. 陕西杨凌: 教育部水土保持与生态环境研究中心, 2015.
- [22] 杨磊, 卫伟, 陈利顶, 等. 半干旱黄土丘陵区人工植被深层土壤干化效应[J]. *地理研究*, 2012, 31(1):71-81.
- [23] 李军, 陈兵, 李小芳, 等. 黄土高原不同植被类型区人工林地深层土壤干燥化效应[J]. *生态学报*, 2008, 28(4):1429-1445.
- [24] 苏子龙, 张光辉, 于艳. 东北典型黑土区不同土地利用方式土壤水分动态变化特征[J]. *地理科学*, 2013, 33(9):1104-1110.
- [25] 关红杰. 砂石覆盖对土壤入渗及蒸发的影响[D]. 陕西杨凌: 教育部水土保持与生态环境研究中心, 2019.
- [26] 王云强. 黄土高原地区土壤干层的空间分布与影响因素[D]. 陕西杨凌: 教育部水土保持与生态环境研究中心, 2010.
- [27] 陈洪松, 邵明安, 王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征[J]. *生态学报*, 2005, 25(10):2491-2498.
- [28] 张晨成, 邵明安, 王云强. 黄土区坡面尺度不同植被类型下土壤干层的空间分布[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(17):102-108.