

# 风沙区马铃薯高垄栽培技术的防风阻沙效果

陈家欢<sup>1</sup>, 袁立敏<sup>2</sup>, 高永<sup>1</sup>, 党晓宏<sup>1</sup>, 杨制国<sup>2</sup>, 李敏<sup>1</sup>

(1.内蒙古农业大学沙漠治理学院,呼和浩特 010011;2.内蒙古自治区林业科学研究院,呼和浩特 010010)

**摘要:** 为了探讨高垄栽培技术防风阻沙效果,对高垄栽培下的马铃薯耕地的上风向、耕地上边缘、耕地中心、耕地下边缘、下风向的近地层风流场和输沙通量等风沙运动指标进行监测与分析。结果表明:气流自上风向至下风向运动过程中,受高垄栽培技术的影响,风速降低幅度、空气动力学粗糙度、摩阻风速均呈现先增加后降低的变化规律,其中在耕地下边缘处达到最大,其10,30,50,100,200 cm高度的防风效能分别为34.96%,46.59%,38.37%,26.68%,18.31%,空气动力学粗糙度与摩阻风速分别为2.15 cm和0.91 m/s,分别是上风向的4.56,1.19倍;垂直方向看,高垄栽培技术对于30 cm高度的风速削弱作用最为明显。风沙流自上风向至下风向运输过程中,其总单宽输沙率呈现先减小后增大的变化规律,在耕地下边缘的总单宽输沙率降至最低,为0.02 g/(cm·min),较上风向减小207.97倍,并且在耕地内部时,风沙流结构发生变异,各层输沙率不再满足指数递减规律。研究结果可为高垄栽培技术在防风阻沙应用中提供一定的理论依据。

**关键词:** 马铃薯高垄栽培技术;土壤风蚀;防风阻沙

中图分类号:S288

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2021)01-0356-05

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.01.051

## Study on Wind Prevention and Sand Resistance of Potato Cultivation Technique in Sandstorm Area

CHEN Jiahuan<sup>1</sup>, YUAN Limin<sup>2</sup>, GAO Yong<sup>1</sup>, DANG Xiaohong<sup>1</sup>, YANG Zhiguo<sup>2</sup>, LI Min<sup>1</sup>

(1.Desert Science and Engineering College, Inner Mongolia Agricultural

University, Hohhot 010011; 2.Inner Mongolia Institute of Forestry Research, Hohhot 010010)

**Abstract:** This study monitored and analyzed the wind and sand movement indexes of potato cultivated land under high ridge cultivation technology, such as upwind wind field, upper edge of cultivated land, center of cultivated land, lower edge of cultivated land, and downwind wind flow field. Results showed that the airflow from the upwind to the downwind during the movement was influenced by the high ridge cultivation techniques. The wind speed reduction, aerodynamic roughness and friction wind speed increased first and then decreased, which reached the maximum at the lower edge of the cultivated land. The wind prevention efficiency at the 10, 30, 50, 100, 200 cm height were 34.96%, 46.59%, 38.37%, 26.68%, 18.31% respectively. The aerodynamic roughness and friction wind speed were 2.15 cm and 0.91 m/s, which were 4.56 and 1.19 times that of the upwind. From the vertical direction, high ridge cultivation technique had the most obvious weakening effect on wind speed at 30 cm height. During the sand flow from the upwind to the downwind, its total sediment discharge per unit width decreased first and then decreased, with the lowest value in the lower edge of the cultivated land, 0.02 g/(cm·min), reduced by 207.97 times than the upwind. Within the cultivated land, sand flow structure changed, the sediment rates in different layers no longer met the law of exponential decline. This study could provide some theoretical basis for the application of high ridge cultivation technique in the wind prevention and sand resistance.

**Keywords:** potato high ridge cultivation technique; soil wind erosion; wind prevention and sand resistance

收稿日期:2020-08-02

资助项目:国家自然科学基金项目(3176030246);中国科学院“西部之光”人才培养引进计划项目

第一作者:陈家欢(1996—),男,在读硕士研究生,主要从事荒漠化防治研究。E-mail:imaucjh@163.com

通信作者:高永(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事荒漠化防治研究。E-mail:13948815709@163.com

高垄栽培技术较传统种植马铃薯的方法更利于马铃薯的生长,有效保证了马铃薯生长所需的阳光、水分、通风和肥料,可显著提高马铃薯种植效率、质量,以及单位面积产量<sup>[1]</sup>,并且马铃薯高垄栽培技术通过改变耕地地表的起伏程度,来降低近地表风速,达到抑制土壤风蚀的效果<sup>[2]</sup>。随着垄作技术在干旱区的推广实施,人们对其防风效益的作用机制也在逐渐深入。Marlatt 等<sup>[3]</sup>通过风洞试验发现,垄高 5.08 cm、间距为 30.5 cm 的泡沫聚苯乙烯垄可以将风速降低 90%;刘目兴等<sup>[4]</sup>通过野外试验发现,垄高为 25 cm、垄沟 150 cm 的垄作田内和下风向的近地表 0—100 cm 内时均风速比上风向平坦地表明显降低,其中高 30 cm 处降低幅度最大。但目前,针对高垄栽培技术下的防风阻沙效益的野外观测研究尚不多见。

喷灌圈是一种具有节约用水、效率高、降低劳动强度、增产等特点的高效的灌溉设备,推动了马铃薯规模化种植的快速发展<sup>[5]</sup>。随着喷灌圈耕地在我国北方地区大面积开垦,人们对喷灌圈耕地的各种问题也逐渐深入,目前集中于灌溉技术<sup>[6]</sup>、高产技术<sup>[7]</sup>、水力侵蚀等<sup>[8]</sup>方面,对土壤风蚀的研究还鲜有报道。基于此,本文以阴山北麓边缘的多伦县为研究区,以马铃薯喷灌圈耕地为研究对象,对高垄栽培技术下的马铃薯耕地的上风向、耕地上边缘、耕地中心、耕地下边缘、下风向的防风效能、风速廓线、空气动力学粗糙度、摩阻风速以及输沙量等风沙运动指标进行计算与分析,以期高垄栽培技术对土壤风蚀的防治提供一定理论依据。

## 1 试验区概况与试验方法

### 1.1 试验区概况

多伦县位于阴山北麓的农牧交错典型地带,属温带半干旱向半湿润过渡区,海拔 1 150~1 800 m,年均降水量 380 mm,年均气温 1.6℃,≥10℃的积温 2 000~2 100℃,年无霜期 90~100 天,年均风速 3.4 m/s,受内蒙古高压气团控制,全年盛行西北风,最大风速出现在春季,占全年大风的 40%。5~8 级大风年度平均出现 5~11 次,出现时间在 5 月下旬至 6 月初。年均日照时间 2 700~3 197 h,年相对湿度为 62%,年均潜在蒸发量 1 748 mm,降水量在年度内分配极不均匀,多集中在 7—9 月,土壤类型主要为栗钙土、草甸土和风沙土<sup>[9-10]</sup>。

### 1.2 试验设计

1.2.1 样地选取 试验选择在研究区内地势较为平坦的马铃薯喷灌圈耕地进行,且喷灌圈耕地周围均为平坦流沙地。春季对喷灌圈耕地进行机械翻耕、播种

聚垄。高垄栽培技术下,垄高约 30 cm,垄基约 60 cm,沟宽约 20 cm,土垄均为东北走向。

1.2.2 风沙观测 于 2019 年 5 月 16 日的一次强沙尘天气测定风沙流在喷灌圈耕地主轴的顺风方向运移情况。观测时研究区无降雨,地表土壤含水率为 2.32%。由图 1 可知,在马铃薯喷灌圈耕地周围布设 5 个测点,其中上下风向测点均为流动沙地;耕地上边缘测点为主害风方向的气流刚进入垄作耕地处;耕地中心测点为喷灌圈耕地圆心靠东北 10 m 处(喷灌圈耕地圆心为指针式喷灌机所在处,无法设置仪器检测);耕地下边缘测点为主害风方向的气流刚离开垄作耕地处,且上下风向两测点距离耕地 50 m,耕地内 3 个测点间隔 200 m。使用 HOBO 小型气象站同步测定各测点距地表 10,30,50,100,200 cm 高度的风速,每 2 s 记录 1 次数据。分别在气象站周围布设阶梯式集沙仪同步对各个测点的输沙量进行测定,该集沙仪收集高度为 50 cm,均分为 25 层,每层为 1 个 2 cm×2 cm 的集沙口。风沙流持续时间为 15:25—17:34,观测期间风向为西北风,以对照风速为参照,其 2 m 高度最大风速为 17.63 m/s,最小风速为 4.82 m/s,平均风速为 11.70 m/s。

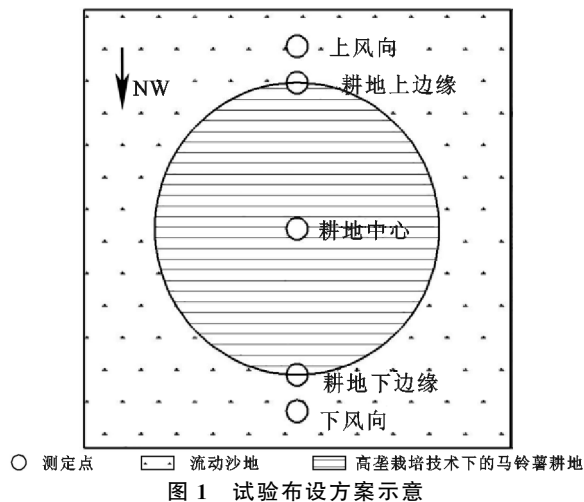


图 1 试验布设方案示意

### 1.2.3 指标计算

#### (1)防风效能计算

$$E_h = \frac{V_{h1} - V_{h2}}{V_{h1}} \times 100$$

式中: $V_{h1}$ 为垄作地表高度  $h$  处的防风效能(%); $V_{h2}$ 为对照高度为  $h$  处平均风速(m/s); $E_h$ 为垄作地表内高度为  $h$  处平均风速(m/s)。

#### (2)空气动力学粗糙度和摩阻风速的确定方法

在中性条件下,由流体力学计算公式,其地表风速廓线可表达为:

$$U_z = \frac{U_*}{K} \ln \frac{Z}{Z_0}$$

式中: $U_*$  为摩阻风速(m/s); $K$  为冯卡曼常数(0.41); $Z$  为距地表高度(cm); $U_z$  为高度为  $Z$  处的风速(m/s); $Z_0$  为空气动力学粗糙度(cm)。

用高度取自然对数值为纵轴,风速值为横轴,最小二乘法拟合所得风速廓线方程为:

$$U_z=A+B\ln Z$$

式中: $A$ 、 $B$  为回归系数。

根据空气动力学粗糙度定义,令  $U_z=0$ ,可以得到空气动力学粗糙度的计算方程:

$$Z_0=\exp^{-\frac{A}{B}}$$

将空气动力学粗糙度计算方程代入至地表风速廓线表达式中,得出摩阻风速的计算方程为:

$$U_*=KB$$

1.2.4 数据处理 图表制作利用 Microsoft Excel 2016 软件,图像制作、曲线拟合分析利用 Origin 2018 软件。

2 结果与分析

2.1 马铃薯高垄栽培技术对风速的削弱作用

由表 1 可知,马铃薯高垄栽培技术对风速起到了较为明显的削弱作用。随着气流途经马铃薯喷灌圈耕地,观测的 5 个高度的防风效能均呈现先增大后减小的变化规律。其中,10 cm 高度耕地上边缘、耕地中心、耕地下边缘、下风向处的防风效能分别为 19.01%,20.95%,34.96%,12.75%;30 cm 高度耕地上边缘、耕地中心、耕地下边缘、下风向处的防风效能分别为 35.55%,42.15%,46.59%,34.11%;50 cm 高度耕地上边缘、耕地中心、耕地下边缘、下风向处的防风效能分别为 35.52%,37.26%,38.37%,33.87%;100 cm 高度耕地上边缘、耕地中心、耕地下边缘、下风向处的防风效能分别为 21.23%,23.93%,26.68%,25.09%;200cm高度耕地上边缘、耕地中心、耕地下

边缘、下风向处的防风效能分别为 5.92%,16.92%,18.31%,13.93%,特别是耕地下边缘处对风力的削弱作用最为明显,其 10,30,50,100,200 cm 高度的防风效益分别为 34.96%,46.59%,38.37%,26.68%,18.31%,随后风速又继续抬升。垂直方向来看,马铃薯高垄栽培技术对于 30 cm 高度的风速削弱作用最为明显,平均防风效益可达 39.60%,而此高度以上和以下风速防风效能逐渐减小。

表 1 马铃薯高垄栽培技术下防风效能空间分布特征

| 高度/<br>cm | 各测定点的防风效能/% |       |       |       |       |
|-----------|-------------|-------|-------|-------|-------|
|           | 耕地上边缘       | 耕地中心  | 耕地下边缘 | 下风向   | 平均    |
| 10        | 19.01       | 20.95 | 34.96 | 12.75 | 21.92 |
| 30        | 35.55       | 42.15 | 46.59 | 34.11 | 39.60 |
| 50        | 35.52       | 37.26 | 38.37 | 33.87 | 36.25 |
| 100       | 21.23       | 23.93 | 26.68 | 25.09 | 24.23 |
| 200       | 5.92        | 16.92 | 18.31 | 13.93 | 13.77 |

2.2 马铃薯高垄栽培技术对近地表空气动力学性质的影响

风速廓线指风速随高度的变化,在地势平坦的旷野,风速与高度一般成对数函数规律,但当气流经过障碍物时,风速分布会发生明显变化<sup>[11]</sup>。由图 2a 可知,虽然马铃薯高垄栽培技术影响后近地表不同部位间风速有较大差异,但各观测点风速均随垂直高度成对数关系递增,决定系数均在 0.97 以上;另外,在马铃薯高垄栽培技术影响下,耕地内以及下风向的风速梯度发生明显变化,其中 10~50 cm 高度内的风速小于上风向,风速随高度的增加增大较慢;而 50~200 cm 风速梯度大于上风向,风速随高度增加增大较快。这主要是因为马铃薯高垄栽培的垄高为 30 cm,该高度上下风速被极大地削弱,导致风速梯度减小;而气流在通过耕地内 50 cm 以上的高度时,受到的削弱作用减小,风速梯度在增大。

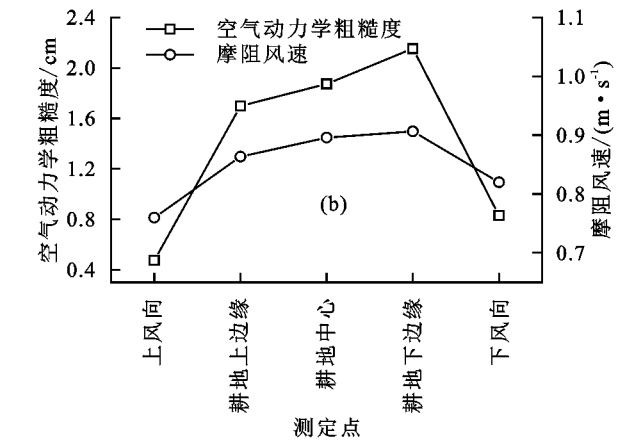
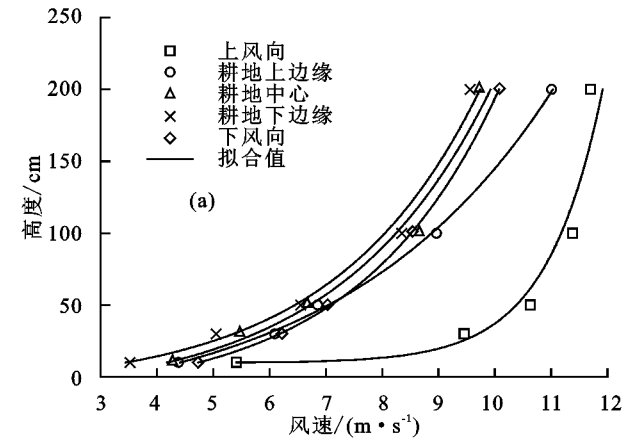


图 2 马铃薯喷灌圈耕地及周围各测点的风速廓线以及空气动力学参数

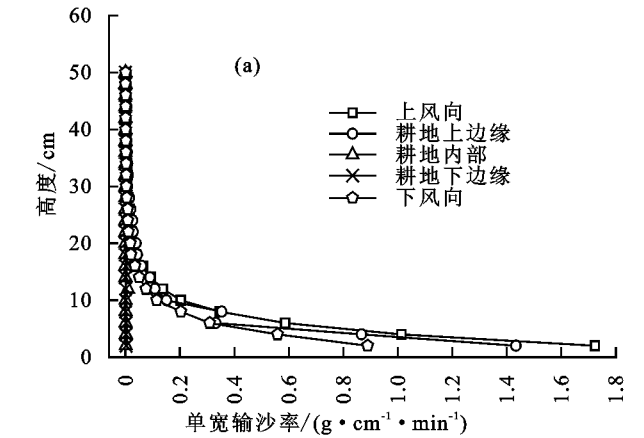
空气动力学粗糙度和摩阻风速可反映下垫面对气流运动的摩擦阻力,是定量评价近地表空气动力学

性质和防风效益的重要参数<sup>[12]</sup>。由图 2b 可知,气流途经马铃薯喷灌圈耕地周围运动时,各测点的空气动力

力学粗糙度和摩阻风速均呈现先升高后降低的趋势,其中耕地上边缘、耕地中心、耕地下边缘、下风向处的空气动力学粗糙度分别是上风向的 3.59,3.96,4.56,1.75 倍,而摩阻风速分别是上风向的 1.14,1.18,1.19,1.08 倍。可以看出,耕地内部的空气动力学粗糙度和摩阻风速均比上下风向的流动沙地大,说明高垄栽培技术通过改变耕地微地形,增加了地表的起伏程度,使得气流与地表间的摩擦阻力增大,从而在一定程度上抑制了土壤风蚀。

### 2.3 马铃薯高垄栽培技术对近地表输沙的影响

过境风沙流途经上方向、耕地上边缘、耕地中心、耕地下边缘、下风向的过程中,受马铃薯高垄栽培技术的影响,其总单宽输沙率以及风沙流结构也发生显著变化。从图 3a 可以看出,各测点单宽输沙率沿高度的分布规律,但由于数据量过多,其拟合曲线与决定系数未在图中标出。风沙流途经至上风向时,输沙率随垂直高度的增加呈现指数递减规律( $R^2=0.99$ ),



0~2 cm 层单宽输沙率最大,达到 1.72 g/(cm·min);至耕地上边缘时,风沙流结构在 6~8 cm 层出现轻微变化,但依旧符合指数递减规律( $R^2=0.98$ ),且 0~2 cm 层单宽输沙率最大,达到 1.43 g/(cm·min);至耕地中心时,风沙流结构出现明显变化( $R^2=0.15$ ),最大单宽输沙率出现在 10~12 cm 层,为 0.01 g/(cm·min);至耕地下边缘时,风沙流结构也出现明显变化,但输沙率随垂直高度的增加大致呈指数递减规律( $R^2=0.76$ ),最大单宽输沙率为 0~2 cm 层,接近于零;随后至下风向时,风沙流结构回归为指数递减规律( $R^2=0.99$ ),0~2 cm 层输沙率最大,达到 0.89 g/(cm·min)。从图 3b 可以看出,风沙流自上风向至下风向运输时,总单宽输沙率呈现先降低后上升的变化规律,具体为上风向 4.35 g/(cm·min)>耕地上风向 3.63 g/(cm·min)>下风向 2.34 g/(cm·min)>耕地中心 0.03 g/(cm·min)>耕地下边缘 0.02 g/(cm·min),在耕地下边缘测定总单宽输沙率下降至最低,较上风向减少 207.97 倍。

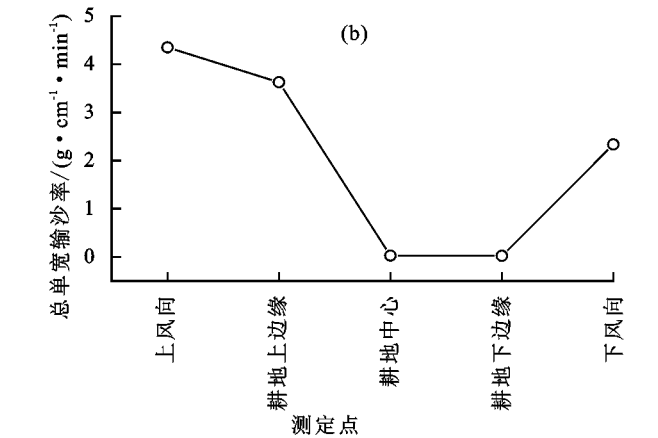


图 3 马铃薯喷灌圈耕地及周围各测点的近地表输沙特征

## 3 讨论

研究高垄栽培的防风阻沙效益强弱,必须分析其对风速的削弱程度来判断。本文对马铃薯喷灌圈高垄栽培耕地不同位置的 10,30,50,100,200 cm 5 个高度的风速进行同步测定,结果表明,高垄栽培对近地表 200 cm 以下的风速均有显著的削弱作用,其中对 30 cm 高度的风速削弱作用最强,此高度以上和以下风速防风效能逐渐减小。这是由于高垄栽培技术下的垄体高约 30 cm,当气流抵达高垄栽培的耕地时,30 cm 高度内的气流由于土垄的阻挡作用,受到压缩,产生分流<sup>[13]</sup>,部分气流沿土垄迎风坡上升,还有部分气流沿土垄边缘做分离绕流作用,另外一部分与土垄撞击形成回流。30 cm 高度处的气流主要受直接回流影响,削弱程度最大,10 cm 高度处的气流,受分流影响,紊流剧烈,风速降低程度较小;而 50 cm 以上高度的风速削弱程度降低,是由于离土垄较远,

受影响的程度较小。

空气动力学粗糙度和摩阻风速用来描述不同下垫面对近地层气流的不同阻碍作用,也是衡量沙区防沙治沙效益的最重要指标之一<sup>[14]</sup>。本研究发现,耕地内部的空气动力学粗糙度和摩阻风速明显大于上下风向区域,说明马铃薯高垄栽培技术改变了地表起伏程度,增大了地表与气流间的摩擦力,从而抑制了土壤风蚀。野外调查发现,此次强沙尘天气后,耕地上边缘的垄沟内存在严重的风积现象,而垄顶出现风蚀现象,地表起伏程度明显降低;耕地中心也出现了垄沟风积、垄顶风蚀的现象,但没有耕地上边缘测点严重;而耕地下边缘几乎没有风蚀风积现象的发生,这与本试验从耕地上边缘至下边缘测点实测得到的气动力学粗糙度和摩阻风速呈现逐渐上升的变化规律相吻合。可见,高垄栽培技术的土垄并不稳固,在受到强风作用下,垄体极易受到土壤风蚀,被吹蚀磨平,最终失去防护效果。



风沙流结构受风速、沙源状况和下垫面情况共同影响<sup>[15]</sup>。在野外,对于同一地区不同观测点来说,下垫面情况是影响风沙流结构的主要因素<sup>[15]</sup>。本文研究表明,不同测点的总单宽输沙率存在明显差异,表现为上风向  $4.35 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{min}) > \text{耕地上风向 } 3.63 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{min}) > \text{下风向 } 2.34 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{min}) > \text{耕地中心 } 0.03 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{min}) > \text{耕地下边缘 } 0.02 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{min})$ 。可见,高垄栽培技术对降低土壤风蚀有明显作用。这是由于气流所搬运沙量的 90% 是集中在离沙质地表 30 cm 的高度内<sup>[16]</sup>,并且这其中绝大多数的砂粒是以蠕移和跃移的形式进行搬运<sup>[17]</sup>,而马铃薯高垄栽培技术的垄体高约 30 cm,在主害风作用下,垄体对砂粒有阻拦作用,可以使绝大多数的蠕移和部分的跃移颗粒不能进行远距离运输,从而达到降低风沙流强度的作用。另有研究<sup>[18-19]</sup>表明,垄作较平作增加了耕作层土壤含水量与土壤团聚体含量,降低土壤易侵蚀颗粒含量。由此可知,垄作还可以通过提高耕地土壤的抗蚀性来达到抑制土壤风蚀的效果。

## 4 结论

(1)马铃薯高垄栽培技术对于近地表 200 cm 以下的风速有较强的削弱作用。以上风向为对照,随着检测距离越远,5 个监测高度的防风效能均呈现先增高后降低的变化规律,其中以耕地下边缘的防风效能达到最大。垂直方向来看,马铃薯高垄栽培技术对于 30 cm 高度的风速削弱作用最为明显,平均防风效益可达 39.60%,而此高度以上和以下风速防风效能逐渐减小。

(2)马铃薯高垄栽培技术通过提高空气动力学粗糙度与摩阻风速,从而起到抑制土壤风蚀的效果,但其并未改变风速与垂直高度的对数变化规律。地表空气动力学粗糙度和摩阻风速,自上风向至下风向呈现先增大后减小的变化规律,在耕地下边缘达到最大,分别为上风向的 4.56,1.19 倍。

(3)马铃薯高垄栽培技术可明显减少输沙量。风沙流自上风向至下风向运输过程中,其总单宽输沙率呈现先减小后增大的变化规律,在耕地下边缘的总单宽输沙率下降至最低,为  $0.02 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{min})$ ,较上风向减小 207.97 倍。风沙流运动至垄作耕地时,其结构也发生明显变异,各层输沙率不再满足指数递减规律。

## 参考文献:

- [1] 于晓刚.马铃薯高垄栽培增产优势及配套技术[J].江西农业,2019(2):12.
- [2] 刘目兴,王静爱,严平,等.垄作对旱作农田土壤风蚀影响的风洞实验研究[J].水土保持学报,2005,19(3):54-57.
- [3] Marlatt W E, Hyder D N. Soil ridging for reduction of wind erosion from grass seedbeds [J]. Range Manage, 1970,23(3):170-174.
- [4] 刘目兴,刘连友,盖永芹,等.农田休闲期垄作地形对近地表风场的影响[J].土壤学报,2007,44(3):397-403.
- [5] 兰才有,仪修堂,薛桂宁,等.我国喷灌设备的研发现状及发展方向[J].排灌机械,2005,23(1):1-6.
- [6] 赵伟霞,李久生,栗岩峰.大型喷灌机变量灌溉技术研究进展[J].农业工程学报,2016,32(13):1-7.
- [7] 张世忠,范杰英,王昱,等.喷灌对玉米产量的影响[J].玉米科学,2010,18(4):112-114.
- [8] 郭敏,方海燕,盛美玲.喷灌侵蚀研究进展[J].人民黄河,2016,38(1):88-92.
- [9] 房飞,唐海萍,李滨勇.不同土地利用方式对土壤有机碳及其组分影响研究[J].生态环境学报,2013,22(11):1774-1779.
- [10] 杨丽萍,王林和,秦艳,等.多伦县近 60 年气候变化分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(7):52-55.
- [11] 庞营军,屈建军,谢胜波,等.高立式格状沙障防风效益[J].水土保持通报,2014,34(5):11-14.
- [12] 赵永来,麻硕士,陈智,等.残茬覆盖地表空气动力学粗糙度变化规律[J].农业机械学报,2013,44(4):118-122.
- [13] 袁立敏,黄海广,闫德仁,等.不同沙埋程度下带状沙障的防风固沙效果研究[J].农业工程学报,2019,35(16):172-179.
- [14] 尚润阳,祁有祥,赵廷宁,等.植被对风及土壤风蚀影响的野外观测研究[J].水土保持研究,2006,13(4):37-39.
- [15] 俞祥祥,李生字,王海峰,等.沙漠公路防护林不同林带位置的风沙流结构[J].干旱区研究,2017,34(3):707-715.
- [16] 董玉祥, Hesp P A, Namikas S L,等.海岸横向沙脊表面风沙流结构的野外观测研究[J].地理科学,2008,28(4):507-512.
- [17] 朱朝云.风沙物理学[M].北京:中国林业出版社,1992:71-74.
- [18] 刘目兴,王静爱,严平,等.沙区旱垄作对油菜生长环境的影响[J].土壤学报,2005,42(6):985-992.
- [19] 熊又升,徐祥玉,张志毅,等.垄作免耕影响冷浸田水稻产量及土壤温度和团聚体分布[J].农业工程学报,2014,30(15):157-164.