

杨 茜, 刘吉利, 贺锦红, 等. 栽培模式对宁南地区马铃薯生理特性及产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(3): 555-561.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.03.002

## 栽培模式对宁南地区马铃薯生理特性及产量的影响

杨 茜<sup>1</sup>, 刘吉利<sup>2</sup>, 贺锦红<sup>1</sup>, 蔡 明<sup>1</sup>, 杨亚亚<sup>1</sup>, 满本菊<sup>1</sup>, 闫承宏<sup>1</sup>, 王志丹<sup>1</sup>, 吴 娜<sup>1</sup>  
(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学资源环境学院, 宁夏 银川 750021)

**摘要:** 为探讨栽培模式对宁夏南部山区马铃薯生理特性及产量的影响, 确定适应该地区马铃薯生产的最佳栽培模式, 以青薯 9 号马铃薯为材料, 采用单因素随机区组试验, 对比分析露地平作(A1)、露地单垄单行(A2)、露地单垄双行(A3)、半膜单垄双行(A4)、全膜单垄双行(A5) 5 种栽培模式下马铃薯抗氧化特性及产量的变化特征。结果表明, 起垄覆膜处理可以有效降低马铃薯叶片细胞膜透性、游离脯氨酸含量及丙二醛含量, A1、A2 处理马铃薯叶片过氧化氢酶活性与 A3、A4、A5 处理的差异均达到显著水平, 超氧化物歧化酶活性表现为覆膜处理与不覆膜处理间存在显著性差异。A5 处理马铃薯产量最高, 且较 A1、A2、A3、A4 处理分别高出 83.8%、53.3%、21.4%、12.9%。综上所述, 起垄、覆膜处理可以显著提高马铃薯抗氧化特性, 进而提高马铃薯产量, 且全膜垄作栽培模式下增产效果最佳。

**关键词:** 马铃薯; 种植模式; 抗氧化特性; 产量

**中图分类号:** S532.044

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2021)03-0555-07

## Effects of cultivation pattern on physiological characteristics and yield of potatoes planted in southern Ningxia

YANG Qian<sup>1</sup>, LIU Ji-li<sup>2</sup>, HE Jin-hong<sup>1</sup>, CAI Ming<sup>1</sup>, YANG Ya-ya<sup>1</sup>, MAN Ben-ju<sup>1</sup>, YAN Cheng-hong<sup>1</sup>,  
WANG Zhi-dan<sup>1</sup>, WU Na<sup>1</sup>

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

**Abstract:** To explore the influence of cultivation pattern on the physiological characteristics and yield of potatoes in the mountainous area of southern Ningxia and determine the best cultivation pattern for potato production in the area, Qing-shu No. 9 was used as the test material and single factor experiment with randomized block design was used to do comparative analysis on variation characteristics of antioxidant properties and yield of potatoes under five cultivation patterns such as open field flat cropping (A1), open field single ridge single row (A2), open field single ridge double row (A3), half film single ridge double row (A4) and full film single ridge double row (A5). The results showed that, ridging and film mulching treatment could effectively reduce the cell membrane permeability, free proline content and malondialdehyde content in potato leaves, the difference of catalase activity in potato leaves between A1, A2 treatments and A3, A4, A5 treatments was significant, while the superoxide dismutase activity showed a significant difference between treatments with and without film covering. The yield of potatoes under A5 treatment was the highest, which was 83.8%, 53.3%, 21.4% and 12.9% higher compared with A1, A2, A3 and A4 treatments, respectively. To sum up, ridging and film mulching treatment can

收稿日期: 2020-09-26

基金项目: 宁夏自然科学基金项目(2019AAC03063)

作者简介: 杨 茜(1996-), 女, 宁夏中卫人, 硕士研究生, 研究方向  
为作物栽培与耕作。(E-mail) 13619575969@163.com

通讯作者: 吴 娜, (E-mail) nawu2000@163.com

improve the antioxidant characteristics of potato significantly and thus increase the yield, the whole film ridge mode shows the best effect in yield increase.

**Key words:** potato; cropping pattern; antioxidant property; yield

马铃薯,茄科草本植物,一年生,富含糖类、蛋白质等多种营养物质,属世界四大粮食作物之一,栽培面积广<sup>[1-3]</sup>,全世界已有 150 多个国家或地区种植。宁夏南部山区农业地域辽阔<sup>[4-5]</sup>,气候冷凉,空气质量优良<sup>[6]</sup>,是目前宁夏地区马铃薯的主产区。但是,宁南山区干旱少雨,加之马铃薯对水分亏缺及其敏感,致使当地马铃薯生产受限<sup>[7-8]</sup>。因此,因地制宜地调整和优化马铃薯种植模式,对发展宁夏南部山区马铃薯产业具有重要意义。

地膜覆盖、起垄栽培等田地节水栽培措施可以有效达到农田节水的主要目的,在作物栽培中已得到广泛应用<sup>[9-11]</sup>。应用地膜覆盖措施的农业田地水分含量比裸露田地的水分含量高出 2.5 个百分点,可以保证马铃薯的正常生长<sup>[12]</sup>。同时,地膜具有增温的效果。覆盖地膜可以减少土壤热量散失、减少土壤水分蒸发,有效增强太阳光的反射,使夜间土壤温度下降趋势减缓<sup>[13-15]</sup>,作物生育期的积温增高<sup>[11]</sup>,对提高作物产量有明显的促进作用。覆膜可以促进作物提前出苗,增加作物出苗率、商品率及产量<sup>[16]</sup>。马铃薯地膜覆盖处理后生长期较露地平作栽培处理缩短了 15 d,块茎产量较露地平作处理每 667 m<sup>2</sup>增加 605.8 kg<sup>[17]</sup>。张荣萍<sup>[18]</sup>的相关试验结果表明,起垄栽培方式有利于植物功能叶片可溶性糖的积累,提高超氧化物歧化酶(SOD)活性,降低丙二醛(MDA)含量,维持植物细胞的正常生长发育。而且,起垄可以改良大田土壤物理性质,增加土壤的有效积温,对马铃薯的生长代谢与干物质积累起到积极作用,从而使马铃薯产量增加<sup>[4]</sup>。目前,有大量研究表明,采用起垄和覆膜栽培方式对增加干旱半干旱地区马铃薯产量和经济效益有明显效果<sup>[19-20]</sup>。因此,本试验将起垄和覆膜 2 种栽培方式相结合,开展起垄单行种植、起垄双行种植、半膜起垄种植、全膜起垄种植等几种栽培方式对马铃薯生理特性及产量的比较研究,旨在进一步阐述起垄覆膜技术在半干旱地区马铃薯生产中的增产效应及其生理机制,为宁南地区马铃薯起垄覆膜技术的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

马铃薯品种为青薯 9 号,种薯由海原县生荣农机服务专业合作社提供。

### 1.2 试验地概况

2018 年 5-10 月在宁夏海原县树台乡大嘴村进行大田试验。试验地位于北纬 36°06′、东经 37°04′,海拔 2 166 m,年平均气温 7℃,年平均降水量 286 mm,无霜期 149 d~171 d,气候类型为大陆性季风气候。如图 1 所示,2018 年总降水量 493.4 mm,年降水量分布不均匀,主要集中于 5-8 月份,占全年总降水量的 75.8%,7 月月均温度最高(20.2℃)。土壤类型为侵蚀黑垆土。试验地 0~20 cm 土层土壤理化性状:有机质 9.69 g/kg,全氮 0.68 g/kg,碱解氮 47.2 mg/kg,全磷 0.76 g/kg,速效磷 6.93 mg/kg,pH 8.52。

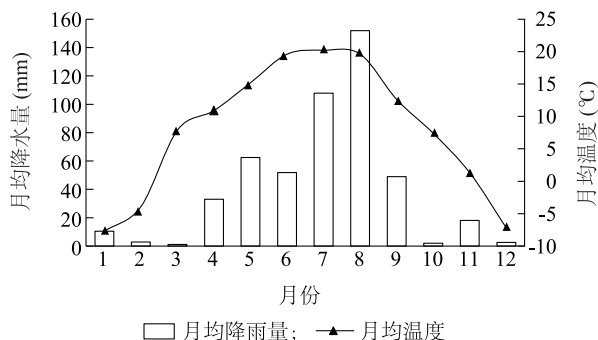


图 1 2018 年试验地月均降雨量及月均温度分布

Fig.1 Monthly average rainfall and monthly average temperature of the experimental area in 2018

### 1.3 试验设计

设计为单因素随机区组试验,共设置 5 个处理:露地平作(A1,不覆膜,不起垄)、露地单垄单行(A2,垄宽 30 cm,沟宽 20 cm,每垄种植 1 行,不覆膜)、露地单垄双行(A3,垄宽 60 cm,沟宽 40 cm,每垄种植 2 行,不覆膜)、半膜单垄双行(A4,垄宽 60 cm,沟宽 40 cm,每垄种植 2 行,垄上覆膜)、全膜单垄双行(A5,垄宽 60 cm,沟宽 40 cm,每垄种植 2 行,垄、沟均覆膜),每个处理重复 4 次,各小区长 10 m,宽 4 m,合计 20 个小区。其中 A2 为等行距种植,行距为 50 cm;A1、A3、A4 和 A5 均为宽窄行种植,宽行行距为 60 cm,窄行行距为 40 cm;各处理株距 40 cm,种植深度 20~25 cm。氮肥 225 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>混合后作基肥,农家肥 45 t/hm<sup>2</sup>。

### 1.4 测定指标与方法

1.4.1 植株样品采集 分别在马铃薯生长苗期、现蕾期、块茎形成期、块茎膨大期、成熟期 5 个生育时

期进行田间采样,每个小区随机取 10 株马铃薯植株样品,于实验室内测定马铃薯叶片的生理特性。

**1.4.2 测定方法** 将选取的具有代表性的植株叶片(选取第 3 片复叶<sup>[21]</sup>)放入冰盒保鲜,随后带到实验室内进行测定。生理指标的测定:细胞膜透性测定采用电导仪法,丙二醛(MDA)含量测定用硫代巴比妥酸(TBA)比色法<sup>[22]</sup>,可溶性糖含量测定利用蒽酮比色法<sup>[22]</sup>,脯氨酸(Pro)含量测定采用磺基水杨酸水浴浸提法<sup>[22]</sup>,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氯化硝基四氮唑蓝(NBT)光还原法测定<sup>[22]</sup>,过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外吸收法<sup>[22]</sup>。产量测定:在马铃薯收获期,每个小区随机选择 2 垄进行测定,每垄选择 5 穴进行收获,记录每穴中大薯、中薯、小薯的数量并称质量(小薯<75 g,中薯75~150 g,大薯>150 g<sup>[23]</sup>),计算马铃薯产量。

### 1.5 计算方法与数据分析

产值(元)=马铃薯单价×马铃薯产量,投入(元)=肥料费用+人工劳务费用+种子费用+塑料地膜费用+其他费用,纯收入(元)=产值-投入,其中马铃薯价格 1 kg 1.2 元,塑料地膜费用为 1 hm<sup>2</sup> 600 元,有机肥料费用为 1 hm<sup>2</sup> 1 500 元,人工劳务费用为 1 hm<sup>2</sup> 4 500 元,马铃薯种子费用为 1 hm<sup>2</sup> 3 750 元,其他费用为 1 hm<sup>2</sup> 1 500 元。

数据处理、相关性分析和作图分别采用 SPSS 20.0、DPS 9.5、Origin2018 软件。

## 2 结果与分析

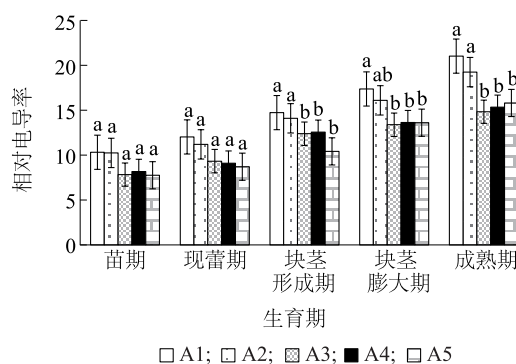
### 2.1 栽培模式对马铃薯生理特性的影响

#### 2.1.1 栽培模式对马铃薯叶片细胞膜透性的影响

图 2 表明,马铃薯叶片细胞膜透性在马铃薯整个生育期内表现为不断增长的趋势,且同一时期内 A1(露地平作)处理马铃薯功能叶片细胞膜透性均为最高,各处理间马铃薯叶片细胞膜透性在苗期与现蕾期均无显著性差异。块茎形成期与块茎膨大期马铃薯叶片细胞膜透性 A1、A2 处理与 A3、A4、A5 处理间差异均达到显著水平,成熟期 A1 处理的细胞膜透性较 A2、A3、A4、A5 处理分别高出 9.3%、41.8%、37.1%、33.1%。

#### 2.1.2 栽培模式对马铃薯叶片丙二醛含量的影响

由图 3 可知,丙二醛含量随着生育期的推进不断升高。马铃薯苗期 A1 处理叶片丙二醛含量较 A2、A3、A4、A5 处理分别高出 12.4%、16.1%、16.0%、21.5%,

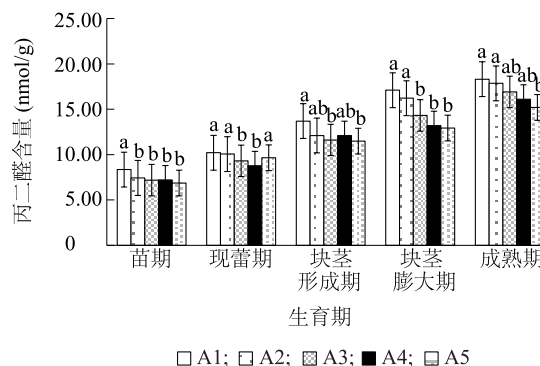


A1:露地平作; A2:露地单垄单行; A3:露地单垄双行; A4:半膜单垄双行; A5:全膜单垄双行。不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

图 2 栽培模式对马铃薯叶片相对电导率的影响

Fig.2 Effect of cultivation pattern on relative electrical conductivity of potato leaves

且 A1 与其他处理间均存在显著性差异。现蕾期 A3、A4 处理与 A1、A2、A5 处理间存在显著性差异。块茎形成期叶片丙二醛含量 A1 处理与 A3、A5 处理间存在显著性差异。块茎膨大期叶片丙二醛含量表现为 A1、A2 处理与 A3、A4、A5 处理间存在显著性差异, A2、A3、A4、A5 处理的叶片丙二醛含量较 A1 处理分别减少了 5.2%、16.2%、22.9%、24.5%。



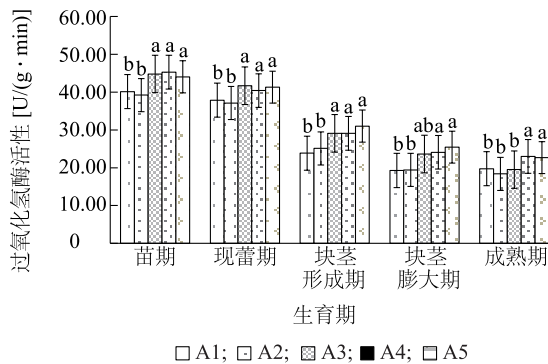
各处理见图 2 注。不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

图 3 栽培模式对马铃薯叶片丙二醛含量的影响

Fig.3 Effects of cultivation pattern on malondialdehyde content in potato leaves

**2.1.3 栽培模式对马铃薯叶片过氧化氢酶活性的影响** 过氧化氢酶的活性直接影响植物的新陈代谢、抗衰老和抗病能力<sup>[24]</sup>。如图 4 所示,过氧化氢酶(CAT)的活性随着马铃薯的生长发育而呈现不断下降的变化趋势。不同生育时期的不同栽培模式下马铃薯叶片的过氧化氢酶活性表现均不同。在马铃薯

苗期, A1、A2 处理与 A3、A4、A5 处理间差异达到显著水平, 且 A1 处理较 A3、A4、A5 处理依次降低了 10.4%、11.4%、8.9%, A2 处理较 A3、A4、A5 处理依次降低了 12.5%、13.4%、10.9%; 现蕾期、块茎形成期马铃薯叶片过氧化氢酶活性 A1、A2 处理与 A3、A4、A5 处理间均存在显著性差异, A3、A4、A5 处理间差异未达到显著水平。其中, 覆膜处理马铃薯叶片过氧化氢酶活性与不覆膜处理间呈现显著差异。



各处理见图 2 注。不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

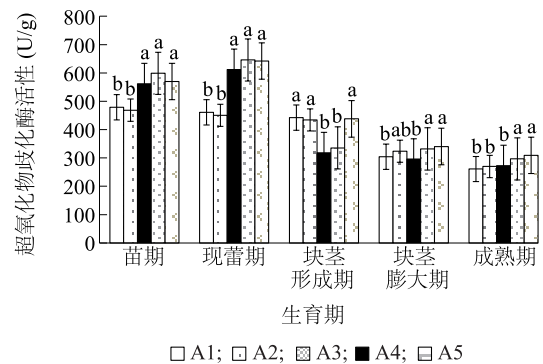
图 4 栽培模式对马铃薯叶片过氧化氢酶 (CAT) 活性的影响

Fig.4 Effects of planting pattern on catalase (CAT) activity in potato leaves

**2.1.4 栽培模式对马铃薯叶片超氧化物歧化酶活性的影响** 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性是直接反映植物衰老和死亡的重要生物学指标<sup>[24]</sup>。如图 5 所示, 超氧化物歧化酶活性在马铃薯整个生育期内呈现先上升后下降的趋势。苗期至现蕾期呈现上升的趋势, 现蕾期之后开始不断下降。在马铃薯苗期、现蕾期 A1、A2 处理与 A3、A4、A5 处理间差异均达到显著水平, 其中苗期 A1 处理较 A3、A4、A5 处理分别降低了 14.8%、20.1%、16.0%, 苗期 A2 处理较 A3、A4、A5 处理分别降低了 16.6%、21.7%、17.7%, 现蕾期 A1、A2 处理较 A3、A4、A5 处理分别降低了 24.6%、28.6%、28.2% 和 26.3%、30.2%、29.8%。块茎膨大期超氧化物歧化酶活性覆膜处理间无显著性差异, 成熟期其活性覆膜处理与不覆膜处理间存在着显著性差异。

**2.1.5 栽培模式对马铃薯叶片游离脯氨酸含量的影响** 植物体内游离脯氨酸含量是反映植株对逆境抵抗能力强弱的重要指标<sup>[25]</sup>。由图 6 可知, 马铃薯生育期内叶片中脯氨酸含量总体上呈现不断增长的趋势。苗期是整个马铃薯生长时期内脯氨酸含量最

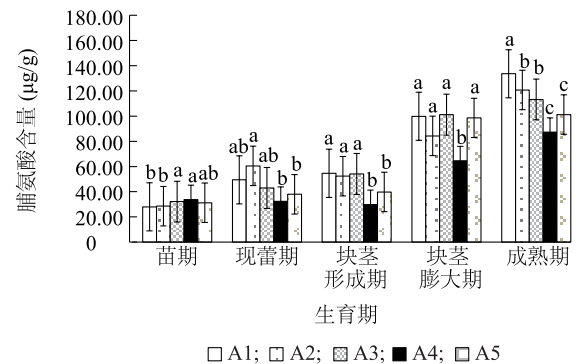
低的一个时期, 该生育期马铃薯叶片脯氨酸含量 A3 处理最大, 且与 A1、A2 处理间差异达到显著水平。块茎形成期 A1、A2、A3 处理与 A4、A5 处理间差异均达到显著水平; 块茎膨大期 A4 处理马铃薯叶片脯氨酸含量最低, 且与 A1、A2、A3、A5 处理间差异均达到显著水平; 成熟期 A1 处理与 A2、A3、A4、A5 处理间均存在显著性差异, 且较其他处理分别高出 10.7%、18.0%、53.1%、31.9%。



各处理见图 2 注。不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 5 栽培模式对马铃薯叶片超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响

Fig.5 Effects of planting pattern on superoxide dismutase (SOD) activity in potato leaves



各处理见图 2 注。不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

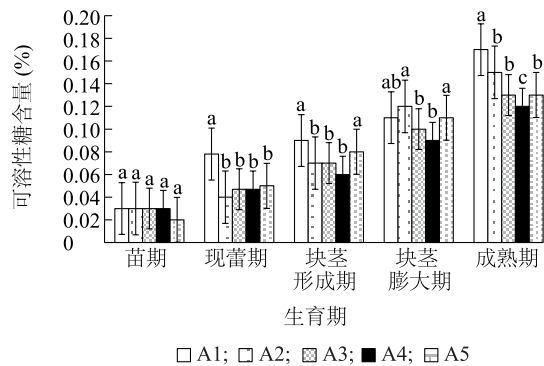
图 6 栽培模式对马铃薯叶片游离脯氨酸含量的影响

Fig.6 Effects of planting pattern on proline content in potato leaves

**2.1.6 栽培模式对马铃薯叶片可溶性糖含量的影响** 如图 7 所示, 马铃薯叶片可溶性糖含量在马铃薯整个生育期内表现为不断上升的趋势。马铃薯苗期各处理间的差异均未达到显著水平。马铃薯现蕾期, A1 处理与 A2、A3、A4、A5 处理间差异均达到显著水平, 且 A1 处理较其他处理依次高出 100%、60%、60%、



60%;块茎形成期 A1、A5 处理与 A2、A3、A4 处理间存在显著性差异。成熟期露地平作处理可溶性糖含量最高,半垄覆膜处理最低;A1 处理与 A2、A3、A4、A5 处理间均存在显著性差异,且 A1 处理比其他处理分别高出 13.3%、30.8%、41.7%、30.8%。



各处理见图 2 注。不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。  
图 7 栽培模式对马铃薯叶片可溶性糖含量的影响  
Fig.7 Effects of planting pattern on soluble sugar content in potato leaves

表 1 栽培模式对马铃薯产量及其构成因素的影响  
Table 1 Effects of planting pattern on potato yield and its components

处理	每穴薯块数	每穴大薯数	大薯质量 (g)	每穴中薯数	中薯质量 (g)	商品薯率 (%)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
露地平作	4.47±2.21c	2.02±1.98c	445±71c	1.03±0.11b	193.57±31b	68.21±1.67b	17 001.4±98c
露地单垄单行	7.01±3.35a	2.81±3.23b	904±56a	2.67±0.23a	263.67±41a	78.1±1.23a	20 388.2±110c
露地单垄双行	5.13±2.65c	3.11±2.11a	764±45b	1.07±0.14b	150.27±27c	81.2±2.11a	25 753.91±116b
半膜单垄双行	6.07±3.12b	3.81±3.11a	794±34b	1.22±0.12b	183.93±33b	82.7±1.89a	27 692.78±201b
全膜单垄双行	7.73±2.91a	4.71±1.62a	937±61a	1.83±0.11a	232.13±34a	84.5±2.33a	31 252.38±135a

A1:露地平作; A2:露地单垄单行; A3:露地单垄双行; A4:半膜单垄双行; A5:全膜单垄双行。同一列不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

表 2 马铃薯不同栽培模式处理的经济效益  
Table 2 Economic benefits of potatoes under different planting patterns

处理	产值 (元, 1 hm <sup>2</sup> )	投入 (元, 1 hm <sup>2</sup> )	纯收入 (元, 1 hm <sup>2</sup> )
A1	20 401.70	9 375	11 026.70
A2	24 465.80	11 250	13 215.80
A3	30 904.69	11 250	19 654.69
A4	33 231.33	11 850	21 381.33
A5	37 502.86	11 850	25 652.86

A1:露地平作; A2:露地单垄单行; A3:露地单垄双行; A4:半膜单垄双行; A5:全膜单垄双行。

2.2 栽培模式对马铃薯产量和经济效益的影响

由表 1 所示,露地平作处理单穴薯块数、每穴大薯数及每穴中薯数均为最低,全膜垄作处理每穴薯块数最多,为 7.73 个,每穴大薯数、中薯数也为最高,分别为 4.71 个和 1.83 个。露地平作处理商品薯率最低,且与其他处理间均存在显著性差异;全膜垄作处理马铃薯收获产量最高,为 31 252.38 kg/hm<sup>2</sup>,与其他处理间均存在显著性差异,其次是半垄覆膜,露地平作处理产量最低,为 17 001.40 kg/hm<sup>2</sup>。

由表 2 可以看出,露地起垄双行种植的马铃薯 (A3 处理) 产值高于露地起垄单行种植 (A2 处理),全膜处理 (A5 处理) 马铃薯的产值高于半膜处理 (A4 处理),其中 A5 处理马铃薯经济效益最高,产值较 A1、A2、A3、A4 处理分别高出 83.8%、53.3%、21.4%、12.9%。全膜垄作处理的纯收入最高,较其他处理 1 hm<sup>2</sup> 分别增加了 14 626.16 元、12 437.06 元、5 998.17 元和 4 271.53 元。

2.3 马铃薯产量与生理特性的相关性

如表 3 所示,马铃薯不同生育期各生理特性指标均与马铃薯产量有一定的相关性。苗期马铃薯功能叶片细胞膜透性与产量呈显著负相关关系,现蕾期马铃薯功能叶片细胞膜透性与总产量呈极显著负相关关系,现蕾期 SOD 活性与产量呈显著正相关关系,苗期马铃薯叶片 MDA 含量与产量呈显著负相关关系。块茎形成期马铃薯叶片可溶性糖含量与产量呈极显著负相关关系,且该生育期各指标与产量的相关性大小表现为:可溶性糖含量>SOD 活性>MDA 含量>脯氨酸含量>CAT 活性>细胞膜透性。

表 3 马铃薯产量与各生育期生理特性的相关性

Table 3 Correlation between yield and physiological characteristics of potatoes in different growth periods

生理指标	与产量的相关系数				
	苗期	现蕾期	块茎形成期	块茎膨大期	成熟期
电导率	-0.925 *	-0.980 **	0.214	0.614	0.643
脯氨酸含量	0.796	-0.756	0.538	0.763	0.724
SOD 活性	0.878	0.930 *	0.715	-0.254	-0.318
CAT 活性	0.833	0.845	-0.413	-0.372	-0.232
MDA 含量	-0.912 *	-0.689	0.591	0.525	0.337
可溶性糖含量	-0.669	-0.526	-0.853 **	0.538	0.767

\*\* 表示在 0.01 水平上显著相关, \* 表示在 0.05 水平上显著相关。

### 3 讨论

霍晓军<sup>[26]</sup>的试验结果表明,糜子籽粒灌浆期,丙二醛含量总体呈上升的趋势,同一生育期内丙二醛含量基本表现为常规露地平作>覆膜>起垄覆膜,说明同一时期内露地平作处理细胞膜脂过氧化程度最高,细胞膜抗逆性最弱。本试验结果显示,起垄栽培模式可以降低马铃薯叶片中丙二醛含量,而全膜垄作处理的降幅更为明显,在马铃薯各生育期叶片丙二醛含量均表现为露地平作>起垄>起垄覆膜,这与霍晓军<sup>[26]</sup>研究结果相似。这一现象可以解释为起垄与覆膜处理对土壤增温保水起到积极的作用,同时改善了土壤理化性质,进而创造出适宜马铃薯生长发育的良好土壤环境。孙梦媛<sup>[27]</sup>在研究中发现全膜垄作处理的马铃薯叶片游离脯氨酸含量较露地平作处理降低了2.75%~8.27%。在本试验条件下同样发现马铃薯成熟期脯氨酸含量表现为全膜垄作处理明显低于露地平作,且两者间存在显著性差异,全膜垄作处理马铃薯的细胞膜透性和丙二醛含量最低、产量最高,说明马铃薯在露地栽培模式下所受逆境胁迫最大,而起垄覆膜处理可以通过提高土壤含水量使得马铃薯所受逆境胁迫变轻,叶片原生质体受损程度变小。霍晓军<sup>[26]</sup>的研究结果显示,超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(CAT)活性在糜子整个生育期内均呈现逐步降低的趋势,且常规露地栽培处理超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性显著低于起垄覆盖栽培。本试验结果显示,在马铃薯块茎形成期和块茎膨大期 CAT 活性均表现为露地平作<起垄<起垄覆膜,马铃薯成熟期 SOD 活性也表现为全膜垄作处理最高,说明起垄覆膜栽培方式能有效保持植物功能叶片消除活性氧的功能,进而延缓叶片衰老。可溶性糖含量在植物遭受某种胁迫时会明显积累以适

应环境变化,抵御逆境胁迫的伤害,对植物起到一定的保护作用<sup>[28-32]</sup>,同时也是植株自身适应逆境条件的响应<sup>[33]</sup>。本试验结果显示,成熟期露地平作处理可溶性糖含量显著高于其他处理,这说明马铃薯在露地平作处理下所遭受的逆境胁迫强于起垄覆膜处理,不利于马铃薯的生长发育,这与前人研究结果相似<sup>[34]</sup>。李建武等<sup>[35]</sup>试验结果表明,马铃薯叶片 SOD 活性、MDA 含量和脯氨酸含量与产量密切相关,这与本试验的相关性分析结果基本一致。

朱国庆等<sup>[36]</sup>的试验结果表明,起垄覆膜栽培模式使春小麦增产34.4%~58.8%。马铃薯起垄覆膜栽培方式在一定程度上有提高土壤温度、保持土壤水分的作用,可以促进早春期间马铃薯出苗,缩短马铃薯生育期,与传统平作不覆膜相比可增产50.1%~86.8%<sup>[37]</sup>。秦舒浩等<sup>[37]</sup>研究结果显示,沟垄覆膜种植模式使半干旱地区马铃薯产量显著升高,增加了农户经济效益。本试验中,露地单垄单行、露地单垄双行栽培模式较露地平作分别增产了19.9%和51.5%,但起垄与覆膜2种栽培方式相结合,尤其全膜单垄双行栽培模式下马铃薯增产效果更为明显,收获的马铃薯商品薯率最高,且与露地平作处理间有显著性差异,全膜单垄双行产量较露地平作处理增产64%,这与朱国庆等<sup>[36]</sup>试验结果一致。说明起垄覆膜栽培技术可以通过减少土壤水分蒸发,增加土壤温度,改善田间小气候,从而提高作物水分利用效率,促进植株地上部干物质的积累和马铃薯块茎产量的增加。

### 4 结论

不同栽培模式下,全膜垄作处理可以降低马铃薯功能叶片细胞膜透性与丙二醛含量,有效增强超

氧化物歧化酶活性、过氧化氢酶活性。马铃薯全膜垄作处理能够有效降低细胞膜脂过氧化程度,对马铃薯清除活性氧自由基有积极的促进作用,使马铃薯抵御逆境胁迫的能力增强,进而提高宁夏南部山区马铃薯产量和经济效益。本试验结果证明全膜单垄双行栽培模式在一定程度上可以实现宁夏南部山区马铃薯高产高效栽培,从而可以为当地马铃薯种植带来更高的经济效益。

## 参考文献:

- [1] 申茂礼.施用钾肥对马铃薯生理指标和产量品质的影响[D]. 西宁:青海大学, 2013.
- [2] 刘 洋,罗其友,高明杰. 世界马铃薯生产及其贸易的发展现状分析[J].世界农业, 2011(8): 46-51.
- [3] 田艳花. 提高马铃薯光能利用率的对策[C]//中国作物学会马铃薯专业委员会,河北省农业厅,张家口市人民政府. 2016年中国马铃薯大会论文集. 张家口:中国作物学会马铃薯专业委员会、河北省农业厅、张家口市人民政府, 2016:191-196.
- [4] 李浩然. 栽培方式对宁南山区马铃薯生理生态特性及产量的影响[D]. 银川:北方民族大学, 2017.
- [5] 李燕山,彩 霞,刘志祥,等. 不同高淀粉马铃薯品系在不同生态条件下的淀粉含量及淀粉产量试验[J]. 现代农业科技, 2010(22): 105-108.
- [6] 崔 勇,马自清,田恩平. 20年来宁夏中南部山区农业生产发展分析[J]. 作物杂志, 2019(2): 28-38.
- [7] 张新永,郭华春. 马铃薯淀粉含量与生长特性相关性的研究进展[J]. 作物杂志, 2004(1): 48-50.
- [8] 亢艳莉,申双和,张学艺,等. 气候变化对宁夏南部山区马铃薯产量的影响及马铃薯水分供需特征分析[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(5): 1056-1061.
- [9] 孙梦媛,刘景辉,赵宝平,等. 全膜垄作对旱作马铃薯土壤含水率、酶活性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(4): 1-8.
- [10] 金胜利,周丽敏,李凤民,等. 黄土高原地区玉米双垄全膜覆盖沟播栽培技术土壤水温条件及其产量效应[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 28-33.
- [11] 张君君. 起垄与覆膜对马铃薯产量和品质的影响[D]. 保定:河北农业大学, 2014.
- [12] 李鼎新,党增春,刘耀宏. 马铃薯早熟丰产的土壤生态环境调控和经济效益的研究[J]. 水土保持研究, 1996(1): 47-51.
- [13] UNGER P W. Role of mulches in dryland agriculture[M]//GUPTA U S. Crop physiology. New Delhi: Oxford and IBH, 1975: 237-260.
- [14] 王树森,邓根云. 地膜覆盖增温机制研究[J]. 中国农业科学, 1991, 24(3): 74-78.
- [15] 李浩然,曹君迈,陈彦云. 不同覆膜栽培方式对雨养区马铃薯光合日变化及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 51-54.
- [16] 暴战声,谢延林,王 耀,等. 寒旱区不同覆膜栽培模式对马铃薯产量的影响[J].中国马铃薯, 2011, 25(3): 213-217.
- [17] 刘富强,张智芳,岩 庭,等. 旱地地膜覆盖对马铃薯生物产量及商品薯率的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2005, 23(1): 20-21.
- [18] 张荣萍. 栽培方式对粳型巨胚稻结实期剑叶一些生理特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(29): 14070-14072.
- [19] 刘生学,任 亮,李彩荷. 半干旱区起垄覆膜方式对马铃薯的影响[J]. 甘肃农业科技, 2014(9): 36-38.
- [20] 彭慧元,邓宽平,雷尊国. 不同起垄方式对马铃薯产量及经济性状的影响研究[J]. 江西农业学报, 2012, 24(7): 42-43, 56.
- [21] 郑有才,杨祁峰,牛俊义. 全膜双垄沟播马铃薯的增温保墒及其产量效应研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2008.
- [22] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社, 2000.
- [23] 吴 娜,刘晓侠,刘吉利,等. 马铃薯/燕麦间作对马铃薯光合特性与产量的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(8): 65-72.
- [24] 李 超,唐海明,汪 柯,等. 栽培模式对南方丘陵红壤旱地春玉米生理生化特性及产量的影响[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(4): 13-17.
- [25] 汤章城. 逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能的意义[J]. 植物生理学通讯, 1984(1): 15-21.
- [26] 霍晓军. 不同节水栽培模式下糜子叶片衰老与活性氧代谢[D]. 咸阳:西北农林科技大学, 2014.
- [27] 孙梦媛. 全覆膜垄作种植对马铃薯生长和土壤特性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2018.
- [28] 杜红居,李晓月,王 梅,等. 木屑对盐碱土中玉米幼苗生理生化指标的影响[J].安徽农业科学, 2014, 42(12): 3550-3551, 3554.
- [29] 高 婷,张 杰,马瑞红,等. NaCl 胁迫对黑籽南瓜生长和生理特性的影响[J].江苏农业科学, 2020, 48(6): 122-124.
- [30] 殷世航,周 赛,黄霄宇,等. 中蔗系列新品种对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J].南方农业学报, 2020, 51(6): 1339-1345.
- [31] 姜琳琳,王 静,段晓凤,等. 低温对富士苹果花抗性生理指标的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(11): 111-114.
- [32] 李 畅,苏家乐,刘晓青,等. 旱涝交替胁迫对杜鹃花生理特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(2): 412-419.
- [33] 王仲林,湛俊旭,程亚娇,等. 干旱胁迫下玉米叶片可溶性糖光谱估测研究[J].四川农业大学学报, 2018, 36(4): 436-443.
- [34] 王国祥,方彦杰,潘永东. 旱地全膜双垄沟播种植对玉米光合生理特性的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(14): 2921-2925.
- [35] 李建武,王 蒂. 灰色关联度分析在马铃薯抗旱生理鉴定中的应用[J]. 种子, 2008(2): 21-23.
- [36] 朱国庆,史学贵,李巧珍. 定西半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. 中国农业气象, 2001(3): 7-10.
- [37] 秦舒浩,张俊莲,王 蒂,等. 覆膜与沟垄种植模式对旱作马铃薯产量形成及水分运移的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 389-394.

(责任编辑:张震林)