

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2024)02-0134-08

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2024.02.007

土壤肥料

# 西北旱作栽培模式下凹凸棒石对马铃薯产量及品质提升效果研究

李亚杰<sup>1,2</sup>, 罗磊<sup>1,2</sup>, 范奕<sup>1,2</sup>, 姚攀峰<sup>3</sup>, 张明<sup>1,2\*</sup>

(1. 定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000; 2. 甘肃省马铃薯产业技术创新中心, 甘肃 定西 743000;

3. 甘肃农业大学, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 凹凸棒石作为农作物营养剂在生态农业中广泛应用。为明确不同西北旱作栽培模式下凹凸棒石与复合肥料配施对不同马铃薯品质提升及产量优势影响, 以‘定薯3号’‘大西洋’‘定薯6号’为试验材料, 设置6个不同处理, 以平作覆膜配施复合肥料以及半膜垄播配施复合肥料分别为对照一(CK<sub>1</sub>)和对照二(CK<sub>2</sub>), 采用随机区组排列方法, 测定马铃薯产量、商品薯率、块茎品质等指标。栽培模式相同情况下, 随凹凸棒石施用量增加产量上升。半膜垄播栽培模式下总产量及商品产量比平作覆膜栽培模式增产明显。平作覆膜和半膜垄播处理下单株块茎数相对对照(CK<sub>1</sub>和CK<sub>2</sub>)处理均显著增加。半膜垄播栽培模式下, 单株块茎数及商品薯率均高于平作覆膜栽培模式。在采用半膜垄播栽培模式与施用凹凸棒石为1 200 kg/hm<sup>2</sup>、复合肥料为450 kg/hm<sup>2</sup>时, 马铃薯块茎内干物质、淀粉、蛋白质、维生素C变化与半膜垄播配施复合肥料处理(CK<sub>2</sub>)相比增高, 提升幅度为5.16%~75.65%。半膜垄播栽培模式下, 相对对照(CK<sub>2</sub>)处理施用凹凸棒石可使铁元素提升14.62%, 锌元素提升28.14%, 钙元素提升12.10%, 镁元素提升30.74%。与常规栽培模式相比, 采用半膜垄播栽培模式与施用凹凸棒石量为1 200 kg/hm<sup>2</sup>、复合肥料为450 kg/hm<sup>2</sup>时, 可提高马铃薯产量、商品薯率、单株块茎数和马铃薯块茎品质。

**关键词:** 马铃薯; 凹凸棒石; 产量; 品质

## Effects of Attapulgite on Yield and Quality Improvement of Potato Under Rain-fed Agriculture Pattern in Northwest China

LI Yajie<sup>1,2</sup>, LUO Lei<sup>1,2</sup>, FAN Yi<sup>1,2</sup>, YAO Panfeng<sup>3</sup>, ZHANG Ming<sup>1,2\*</sup>

(1. Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi, Gansu 743000, China;

2. Gansu Potato Industry Technology Innovation Center, Dingxi, Gansu 743000, China;

3. Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Attapulgite is widely used as a crop nutrient in ecological agriculture. To investigate the effects of attapulgite combined with compound fertilizer on the quality improvement and yield advantage of different potato

收稿日期: 2024-03-22

基金项目: 甘肃省技术创新引导计划-农业类(22CX8NJ153); 定西市重点技术攻关专项(DX2022BZ38); 甘肃自然科学基金(23JR-RA1414); 甘肃省陇原青年英才专项资金; 甘肃省重点研发计划项目(23YFNJ0005); 定西市科技计划资助项目(DX2023AY06); 甘肃省科技重大专项(23ZDNA006); 科技特派员(基地)专项(23CXNJ0017)。

作者简介: 李亚杰(1986-), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事马铃薯遗传育种及栽培技术研究。

\*通信作者(Corresponding author): 张明, 研究员, 主要从事马铃薯高效栽培技术研究, E-mail: zming1968@163.com。

varieties under various rain-fed agriculture patterns in the northwest region, six treatments were established using 'Dingshu 3', 'Atlantic', and 'Dingshu 6' as experimental materials. Control 1 (CK<sub>1</sub>) involved flat film mulching combined with compound fertilizer, while control 2 (CK<sub>2</sub>) employed half-film ridging combined with compound fertilizer. Potato yield, marketable tuber percentage, and tuber quality were assessed using a random block arrangement method. Under similar cultivation conditions, the yield increased proportionally to attapulgit application rate. Notably, both total yield and marketable yield were obviously higher under half-film ridging pattern compared to flat film mulching pattern. Furthermore, compared to the control treatments (CK<sub>1</sub> and CK<sub>2</sub>), both flat film mulching and half-film ridging resulted in a significant increase in the number of tubers per plant. Additionally, when employing half-film ridging cultivation pattern instead of flat film mulching cultivation pattern, there was an observed increase in both the number of tubers per plant and the marketable tuber percentage. Half-film ridging, combined with application of 1 200 kg/ha of attapulgit and 450 kg/ha of compound fertilizer resulted in increases ranging from 5.16% to 75.65% for dry matter content, starch content, protein content, and vitamin C content in potato tubers. Moreover, the use of attapulgit demonstrated notable improvements in mineral elements such as iron by 14.62%, zinc by 28.14%, calcium by 12.10%, and magnesium by 30.74% when compared to the control treatment (CK<sub>2</sub>). Compared with conventional cultivation pattern, the potato yield, marketable tuber percentage, number of tubers per plant, and tuber quality could be enhanced by utilizing the half-film ridging cultivation pattern combined with application of 1 200 kg/ha of attapulgit and 450 kg/ha of compound fertilizer.

**Key Words:** potato; attapulgit; yield; quality

近年来, 生态农业理念的提出及推进落实加之农业双减政策的实施, 使中国生态农业快速发展<sup>[1]</sup>, 研究生态农业替代材料和新型技术尤为重要。凹凸棒石(Attapulgit, APT)属于世界稀缺非金属矿种<sup>[2]</sup>。中国是世界凹凸棒石主要蕴藏国, 其中甘肃省凹凸棒石资源占世界70%以上, 主要分布在白银市靖远县、会宁县和张掖市临泽县。凹凸棒石新型材料晶体结构独特, 具有吸附性、缓释性、流变性、悬浮性、离子交换性等优良物化性质。甘肃省凹凸棒石富含动植物有机体所需的铜、锌、钒、钼、硒、碘、铁、硼等多种有益微量元素, 可有效填补土壤微量元素不足的短板, 在现代生态农业中发挥重要作用。

凹凸棒石作为肥料缓释剂和土壤改良剂在提高肥料利用率和提升农产品产量和品质方面具有显著成效<sup>[3-4]</sup>。在提高当归药材产量和总阿魏酸含量研究中, 已表明凹凸棒石的肥料缓释效应可提高叶片净光合速率, 提高植株地上部分生物量, 促使营养提前从地上部分向地下根部转移和积累, 提高当归药材主要药效成分总阿魏酸含量<sup>[3]</sup>。在对苦荞产量及根、茎和籽粒中重金属吸收量的影响

研究中, 施凹凸棒石粉+土壤修复调理剂可提高苦荞产量, 具有修复土壤重金属污染的积极效应<sup>[5]</sup>。刘左军等<sup>[6]</sup>研究表明, 凹凸棒石黏土对土壤团粒结构和小麦生长产生一定影响, 能显著增加直径0.25~0.5 mm团聚体总数, 同时提高小麦千粒重和淀粉含量。施用适量凹凸棒石保水剂能延缓小麦旗叶衰老<sup>[7]</sup>。在设施农业中, 凹凸棒石添加量为基质质量20%时, 基质理化性状较好, 草莓品质及产量较高<sup>[8]</sup>。凹凸棒石在环境节能减排方面具有重要作用, 添加凹凸棒石可降低堆肥发酵最高温度, 延长高温持续时间, 降低堆体水分损失速率并提高有机肥的钾素含量<sup>[9]</sup>。

马铃薯生长发育需要吸收多种营养元素, 在目前耕作栽培模式中, 往往只注重大量元素氮磷钾的施用, 忽略了微量元素的重要作用。凹凸棒石中富含马铃薯生长发育所需的多种微量元素, 本试验通过在不同旱作栽培模式下, 结合凹凸棒石与复合肥料配施技术, 研究凹凸棒石对马铃薯产量及块茎品质变化影响, 为凹凸棒石在马铃薯营养品质提升应用研究方面奠定基础并提供一定科学依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验地概况

试验于2020—2021年在定西市农业科学研究院科研创新基地(N 35°33', E 104°35')进行。试验地海拔1 920 m, 年平均气温7.2 °C, 无霜期138 d, ≥0 °C的积温3 280.6 °C, ≥10 °C的活动积温2 640.4 °C, 年均降雨量415.3 mm, 平均蒸发量为1 531 mm, 平均干燥度2.53, 是典型的干旱半干旱气候。试验地土壤为典型黄绵土, 土层深厚, 土壤质地较均匀。

试验测定试验地前土壤基础理化性质如下: 容重1.30 g/cm<sup>3</sup>、pH 7.80、有机质20.20 g/kg、全氮0.23 g/kg、硝态氮14.77 mg/kg、有效磷10.93 mg/kg、速效钾114.25 mg/kg, 有效锌2.50 mg/kg, 有效铁4.02 mg/kg。

### 1.2 试验设计

供试马铃薯品种为‘定薯3号’(晚熟品种)、

‘大西洋’(中熟品种)、‘定薯6号’(晚熟品种), 种薯级别为原原种, 由定西市农业科学研究院马铃薯研究所提供。凹凸棒石粉(K<sub>2</sub>O≥3%, 钙、镁、硫≥8%, 锰、锌、铁、铜≥0.5%), 由凹凸棒石应用有限公司提供。

平作覆膜播种, 膜宽100 cm, 膜上播种2行, 垄距80 cm, 株距30 cm, 密度52 500株/hm<sup>2</sup>; 半膜覆盖垄播方式种植, 垄宽70 cm, 垄高15 cm, 垄沟40 cm, 膜上播种2行, 垄距80 cm, 株距30 cm, 密度52 500株/hm<sup>2</sup>。施农家肥7 500 kg/hm<sup>2</sup>, 农家肥一次性底施。试验于4月中下旬采用马铃薯穴播器播种, 10月初收获。试验共设6个处理, 4次重复, 小区面积20 m<sup>2</sup>, 试验采用随机区组排列。其中对照处理分为两个, 分别为半膜垄播(CK<sub>1</sub>)与平作覆膜播种(CK<sub>2</sub>), 两个对照仅基施复合肥(N:P:K=15:15:15), 不施用凹凸棒石; 其余处理(T1、T2、T3、T4)将复合肥与凹凸棒石掺混后基施, 具体施用量见表1。

表1 不同栽培模式下凹凸棒石和复合肥料用量

Table 1 Application rate of attapulgite and compound fertilizer under different cultivation patterns

处理 Treatment	栽培模式 Cultivation pattern	凹凸棒石(kg/hm <sup>2</sup> ) Attapulgite	复合肥料(kg/hm <sup>2</sup> ) Compound fertilizer
T1	平作覆膜播种	1 200	450
T2	平作覆膜播种	750	450
T3	半膜垄播	1 200	450
T4	半膜垄播	750	450
CK <sub>1</sub>	平作覆膜播种	0	450
CK <sub>2</sub>	半膜垄播	0	450

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 产量

植株成熟期后, 以小区为单位进行人工收获、称重, 并换算为公顷产量。

总产量(kg/hm<sup>2</sup>)=15 × 小区产量(kg) × 667m<sup>2</sup>/20 m<sup>2</sup>

商品薯产量(kg/hm<sup>2</sup>)=15 × 小区商品薯产量(kg) × 667m<sup>2</sup>/20 m<sup>2</sup>

#### 1.3.2 商品薯率

商品薯率=小区内(重量 > 70 g)的块茎重量/小区全部块茎重量 × 100%

#### 1.3.3 单株块茎数

收获时, 小区内随机挑选20株统计单株块茎数, 计算每株平均块茎数。

#### 1.3.4 品质指标

测定块茎干物质、淀粉、蛋白质、维生素C、铁、锌、钙、镁含量。块茎品质由山东熠辉检测技术有限公司进行测定。

### 1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2021软件对数据进行处理, 使用SPSS 19.0统计软件, 采用Duncan's法对各处理之间进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理模式对马铃薯总产量及商品薯产量的影响

半膜垄播栽培模式结合凹凸棒石与复合肥料的总产量及商品薯产量相比平作覆膜栽培模式增产(表2)。在增产效应方面,品种‘大西洋’2020年T2处理下总产量与2021年T2处理下商品薯产量相比对照(CK<sub>1</sub>)增产但差异不显著,其余T1与T2处理下总产量及商品薯产量相比对照(CK<sub>1</sub>)增加显著,T1与T2总产量相比对照(CK<sub>1</sub>)分别平均增加5 891 kg/hm<sup>2</sup>与2 179 kg/hm<sup>2</sup>,T1与T2商品薯产量相比对照(CK<sub>1</sub>)分别平均增加6 152 kg/hm<sup>2</sup>与2 907 kg/hm<sup>2</sup>;T3与T4处理下的总产量及商品薯产量相比对照(CK<sub>2</sub>)增加显著,T3与T4总产量相比对照(CK<sub>2</sub>)分别平均增加6 917 kg/hm<sup>2</sup>与3 807 kg/hm<sup>2</sup>,T3与T4商品薯产量相比对照(CK<sub>2</sub>)分别平均增加8 252 kg/hm<sup>2</sup>与5 705 kg/hm<sup>2</sup>。可见,栽培模式相同情况下添加凹

凸棒石可实现增产。在栽培模式方面,T3处理下‘大西洋’总产量相比T1处理平均增产1 326 kg/hm<sup>2</sup>,T4处理下总产量与T2处理相比平均增产1 962 kg/hm<sup>2</sup>,T3处理下‘大西洋’商品薯产量相比T1处理平均增产2 303 kg/hm<sup>2</sup>,T4处理下商品薯产量与T2处理相比平均增产3 000 kg/hm<sup>2</sup>。可见,半膜垄播栽培模式下产量高于平作覆膜栽培模式。‘定薯6号’半膜垄播栽培模式下,凹凸棒石施用量1 200 kg/hm<sup>2</sup>(T3)时,较T1与T2处理总产量增加显著,相比对照CK<sub>2</sub>总产量及商品薯产量分别平均增加4 790 kg/hm<sup>2</sup>与4 660 kg/hm<sup>2</sup>,平均增产幅度为19.5%与21.1%。在‘定薯3号’中,T3处理下总产量及商品薯产量高于T1处理,T4处理下总产量及商品薯产量高于T2处理,T3下总产量相比对照(CK<sub>2</sub>)差异达到显著水平,平均增产10 199 kg/hm<sup>2</sup>,商品薯产量相比对照(CK<sub>2</sub>)增加8 678 kg/hm<sup>2</sup>。综上,半膜垄播栽培模式下,凹凸棒石施用量1 200 kg/hm<sup>2</sup>与复合肥料量450 kg/hm<sup>2</sup>相比其他处理增产显著。

表2 不同旱作栽培模式结合施肥处理对不同马铃薯品种产量的影响

Table 2 Effects of different rain-fed agriculture patterns combined with fertilization treatments on yield of various potato varieties

品种 Variety	处理 Treatment	总产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Total yield		商品薯产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Marketable tuber yield	
		2020年	2021年	2020年	2021年
大西洋 Atlantic	T1	24 936±1 131b	24 606±951a	23 213±537a	18 956±784b
	T2	20 282±786c	21 839±895b	18 872±1 047c	16 808±1 053c
	T3	27 078±1 324a	25 116±835a	24 980±606a	21 794±721a
	T4	24 171±1 279b	21 804±813b	21 134±708b	20 546±636a
	CK <sub>1</sub>	18 048±1 003c	19 713±1 447c	14 738±537d	15 128±457c
	CK <sub>2</sub>	18 549±761c	19 812± 940c	15 080±622d	15 191±487c
定薯6号 Dingshu 6	T1	25 808±831b	28 022±402b	26 585±592a	25 197±678b
	T2	25 601±1 085b	25 964±828c	21 678±753b	22 142±952c
	T3	28 296±903a	30 318±528a	27 084±691a	26 634±445a
	T4	27 005±502a	28 070±936b	22 347±876b	25 536±1 086a
	CK <sub>1</sub>	23 943±601c	24 834±670c	21 228±562b	22 653±835c
	CK <sub>2</sub>	24 078±552c	24 956±628c	21 543±505b	22 856±661c
定薯3号 Dingshu 3	T1	28 904±507b	27 458±889b	27 108±1 021b	24 057±591c
	T2	30 380±895b	26 813±672c	23 328±937c	25 968±697c
	T3	33 851±619a	30 713±829a	29 943±642a	32 724±781a
	T4	30 801±488b	29 946±937a	26 342±502b	29 510±643b
	CK <sub>1</sub>	18 048±426c	24 210±556d	21 789±799c	22 773±805d
	CK <sub>2</sub>	18 657±458c	25 509±550d	22 326±616c	22 986±460d

注:数据表示为平均值±标准误,同一个品种同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Data are presented as mean ± standard error. Different lowercase letters in the same column for the same variety mean significant difference at 0.05 level. The same below.

### 2.2 不同处理模式对单株块茎数和商品薯率的影响

两个试验年份内凹凸棒石与复合肥料配比施用可增加单株块茎数和商品薯率(表3)。平作覆膜栽培模式下, T1处理单株块茎数和商品薯率相比对照处理(CK<sub>1</sub>)差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。T3与T4处理下单株块茎数与商品薯率高于T1与T2处理下测定值。半膜垄播栽培模式下, T3处理下3个马铃薯品种单株块茎数与商品薯率相比对照处理(CK<sub>2</sub>)增幅较高, 且差异性达到显著水平。T3处理

中‘大西洋’单株块茎数在两个试验年份内相比对照处理(CK<sub>2</sub>)平均增长幅度为22.5%, ‘定薯6号’平均增长幅度为45.5%, ‘定薯3号’平均增长幅度为21.7%, ‘大西洋’商品薯率相比对照(CK<sub>2</sub>)处理平均增长幅度为15.6%, ‘定薯6号’相比对照(CK<sub>2</sub>)处理平均增长幅度为19.1%, ‘定薯3号’相比对照(CK<sub>2</sub>)处理平均增长幅度为9.9%。据增长幅度可知, ‘定薯6号’在T3处理时单株块茎数与商品薯率增长较快, 对凹凸棒石与复合肥料的配施比例表现出优势, 在此施肥背景下具有一定增产潜力。

表3 不同旱作栽培模式结合施肥处理对不同马铃薯品种单株块茎数和商品薯率的影响

Table 3 Effects of different rain-fed agriculture patterns combined with fertilization treatments on number of tubers per plant and marketable tuber percentage of various potato varieties

品种 Variety	处理 Treatment	单株块茎数(个) Number of tuber per plant (No.)		商品薯率(%) Marketable tuber percentage	
		2020年	2021年	2020年	2021年
大西洋 Atlantic	T1	4.5±0.35b	4.5±0.68b	86.2±6.15a	89.4±4.52a
	T2	4.1±0.21c	4.4±0.15b	84.4±5.22a	82.8±3.34b
	T3	5.2±0.22a	4.8±0.29a	86.7±3.68a	89.6±6.08a
	T4	4.7±0.37b	4.5±0.17b	83.3±3.33a	83.3±5.06b
	CK <sub>1</sub>	3.5±0.65c	4.2±0.46c	73.2±6.04b	71.4±7.18c
	CK <sub>2</sub>	3.9±0.55c	4.3±0.32c	80.3±5.17b	72.7±5.06c
定薯6号 Dingshu 6	T1	6.3±0.35a	6.3±0.35a	87.5±4.44a	87.2±1.15a
	T2	5.9±0.44a	6.0±0.62a	85.5±3.48a	84.6±2.26b
	T3	6.6±0.15a	6.7±0.71a	90.6±5.04a	91.8±2.67a
	T4	6.2±0.22a	6.2±0.34a	86.4±3.69a	88.4±3.16a
	CK <sub>1</sub>	4.3±0.29b	5.3±0.40b	70.4±4.66b	81.0±4.92c
	CK <sub>2</sub>	4.2±0.33b	5.0±0.31c	71.2±5.02b	82.7±4.48c
定薯3号 Dingshu 3	T1	7.2±0.33b	6.9±0.18a	87.5±2.06a	90.9±5.02b
	T2	7.1±0.22b	6.5±0.20b	86.6±2.44a	87.2±1.18b
	T3	8.0±0.26a	7.8±0.34a	90.3±1.08a	95.0±2.04a
	T4	7.7±0.25a	7.3±0.19a	87.4±3.05a	90.0±3.31b
	CK <sub>1</sub>	6.1±0.27c	5.7±0.37c	82.0±2.24b	82.1±2.25c
	CK <sub>2</sub>	6.8±0.58c	6.2±0.72b	83.7±2.18b	84.8±2.54c

### 2.3 不同栽培模式对马铃薯块茎品质的影响

不同栽培模式结合凹凸棒石对马铃薯块茎品质产生不同程度影响(表4)。根据两个试验年份内平均数据可知, 平作覆膜栽培模式下, 干物质相比对照处理(CK<sub>1</sub>)平均提升幅度为5.4%, 淀粉为29.3%, 蛋白质为18.1%, 维生素C为8.0%。半膜垄播栽培模式处理下干物质相比对照处理(CK<sub>2</sub>)平均提升幅度为7.2%, 淀粉为24.1%, 蛋白质为25.5%, 维

生素C为9.5%。采用半膜垄播栽培与施用凹凸棒石量1 200 kg/hm<sup>2</sup>、复合肥料450 kg/hm<sup>2</sup>(T3)时, 干物质、淀粉、蛋白质、维生素C与对照处理(CK<sub>2</sub>)相比提升5.16%~75.65%, 可明显改善块茎营养品质。

### 2.4 不同栽培模式对马铃薯块茎内矿质元素变化影响

施用凹凸棒石肥料可显著提升马铃薯块茎内矿质元素(表5), T3与T4处理下铁、锌、钙和镁元

素含量高于T1与T2处理,其中T1与T2处理下铁元素相比对照(CK<sub>1</sub>)处理平均提升幅度为10.76%,锌元素为13.86%,钙元素为12.59%,镁元素为29.69%,镁元素提升幅度最高。在平作覆膜栽培模式下,‘定薯3号’与‘定薯6号’镁含量提升幅度最大,分别达35.71%和34.62%,‘大西洋’钙含量提升幅度最大,为24.78%。半膜垄播栽培模式下,各品种铁元素相比对照(CK<sub>2</sub>)处理平均提升幅度为

14.62%,锌含量为28.14%,钙含量为12.10%,镁含量为30.74%,‘定薯3号’与‘大西洋’锌含量提升最大,分别达47.73%和27.31%,‘定薯6号’镁含量提升幅度最大,为26.14%。半膜垄播栽培与凹凸棒石结合施用模式下,铁、锌、钙、镁元素含量相比平作覆膜均有较大增长,利用此栽培方式与施肥模式可以有效提升马铃薯块茎内矿质元素,为马铃薯营养提升计划有效实施提供一定科学依据。

表4 不同旱作栽培模式结合施肥处理对不同马铃薯品种品质的影响

Table 4 Effects of different rain-fed agriculture patterns combined with fertilization treatments on tuber quality of various potato varieties

品种 Variety	处理 Treatment	干物质(%) Dry matter	淀粉(%) Starch	蛋白质(%) Protein	维生素C(mg/100g) Vitamin C
定薯3号 Dingshu 3	T1	23.34±3.56a	22.95±0.53b	2.91±0.04a	17.13±0.44a
	T2	21.26±1.31b	20.17±1.25b	2.72±0.03b	15.19±1.12b
	T3	24.11±2.04a	25.31±2.56a	3.17±0.02a	17.42±1.57a
	T4	23.64±1.18a	21.18±1.64b	2.89±0.02a	15.77±2.08b
	CK <sub>1</sub>	21.07±2.56b	14.33±1.07c	2.22±0.09c	14.90±0.66b
	CK <sub>2</sub>	22.03±2.24b	17.65±3.31c	2.30±0.07c	15.02±0.48b
大西洋 Atlantic	T1	26.74±2.72b	21.98±0.60b	2.19±0.09b	16.22±0.29a
	T2	26.00±1.82b	21.24±1.16b	2.01±0.07b	16.07±1.18a
	T3	28.57±1.66a	22.52±2.04a	2.39±0.01a	16.84±2.07a
	T4	26.19±2.91b	20.63±1.98b	2.32±0.07a	16.28±1.16a
	CK <sub>1</sub>	25.22±1.35c	18.71±0.80c	2.01±0.08b	14.83±1.12b
	CK <sub>2</sub>	26.09±2.24b	19.16±1.18c	2.03±0.01b	15.03±1.13b
定薯6号 Dingshu 6	T1	32.52±1.11a	22.44±0.63b	2.16±0.05b	15.03±0.63a
	T2	32.27±0.57a	20.99±1.71b	2.11±0.09b	14.42±0.84b
	T3	32.95±1.54a	25.15±2.08a	2.51±0.04a	15.51±0.34a
	T4	32.24±0.96a	21.62±1.88b	2.38±0.06a	14.72±1.12b
	CK <sub>1</sub>	30.56±0.47b	17.11±1.16c	1.73±0.11c	13.84±0.51b
	CK <sub>2</sub>	30.08±0.24b	18.16±1.28b	1.92±0.07c	14.02±0.62b

表5 不同旱作栽培模式结合施肥处理对马铃薯矿质元素变化影响

Table 5 Effects of different rain-fed agriculture patterns combined with fertilization treatments on mineral element of various potato varieties

品种 Variety	处理 Treatment	铁含量(mg/kg) Iron	锌含量(mg/kg) Zinc	钙含量(g/kg) Calcium	镁含量(g/kg) Magnesium
定薯3号 Dingshu 3	T1	158.68±7.79b	11.06±1.22b	1.70±0.04b	0.69±0.04b
	T2	152.47±3.65b	10.37±1.48b	1.68±0.03b	0.64±0.01b
	T3	185.68±4.96a	15.68±1.91a	1.77±0.05a	0.77±0.05a
	T4	166.87±5.07b	11.30±0.35b	1.73±0.12a	0.69±0.03b
	CK <sub>1</sub>	136.20±9.77c	8.90±0.77c	1.53±0.13c	0.49±0.03c
	CK <sub>2</sub>	141.22±6.05b	9.15±0.82b	1.61±0.12b	0.51±0.04c

续表

品种 Variety	处理 Treatment	铁含量(mg/kg) Iron	锌含量(mg/kg) Zinc	钙含量(g/kg) Calcium	镁含量(g/kg) Magnesium
大西洋 Atlantic	T1	111.42±4.70b	17.95±1.12b	1.45±0.13a	0.67±0.06b
	T2	108.51±5.02b	18.16±1.15b	1.37±0.02b	0.66±0.02b
	T3	121.20±4.31a	20.66±1.18a	1.50±0.10a	0.78±0.07a
	T4	115.24±3.95a	19.62±2.07a	1.51±0.06a	0.72±0.05a
	CK <sub>1</sub>	96.84±4.01c	15.34±1.59c	1.13±0.08c	0.56±0.02c
	CK <sub>2</sub>	102.55±5.03b	15.82±2.07c	1.20±0.07c	0.61±0.08b
定薯6号 Dingshu 6	T1	77.83±2.91a	17.84±0.56b	1.64±0.09a	0.54±0.13a
	T2	77.05±3.34a	17.54±1.35b	1.60±0.12b	0.51±0.01a
	T3	78.02±6.97a	20.27±0.91a	1.66±0.09a	0.58±0.05a
	T4	78.15±5.02a	18.82±1.44a	1.63±0.08a	0.53±0.03a
	CK <sub>1</sub>	74.08±5.96b	17.09±0.93b	1.58±0.06b	0.39±0.01b
	CK <sub>2</sub>	75.26±4.52b	17.82±0.75b	1.61±0.08a	0.44±0.03b

### 3 讨论

不同旱作栽培模式结合凹凸棒石与复合肥料施用对不同马铃薯品种的总产量及商品薯产量产生不同程度影响。本研究中,不同栽培模式下,添加凹凸棒石相比未添加凹凸棒石品种显著增产,其增产原因可能是凹凸棒石富含马铃薯生长发育所需的多种营养元素,可提高其叶片净光合速率和植株地上部分生物量,并促使营养提前从地上部分向地下根部转移和积累,从而提高单株质量;凹凸棒石的疏松结构特性能够改变土壤透气性,同时改善根际微生物的生长环境,这种可能性将在后续工作中通过营养诊断、土壤呼吸及根际微生物调查研究作进一步验证。

本研究表明,半膜垄播栽培模式相比平作覆膜栽培模式对作物生长更具有优势,半膜垄播栽培集覆盖抑蒸、膜面集雨、垄沟种植技术为一体,具有保墒蓄墒、保水保肥、增加地表温度,提高水肥利用率等技术优势。半膜覆盖垄播栽培技术主要适用于干旱少雨地区,近年来在西北地区被大量推广应用。宋婷婷等<sup>[10]</sup>开展不同旱作马铃薯栽培模式下土壤酶活性研究,试验结果表明半膜沟垄播和半膜沟垄播土壤的碱性磷酸酶活性和过氧化氢活性均高于对照平畦不覆膜和其他处理。赵敏等<sup>[11]</sup>研究发现连作条件下,半膜垄播有利

于提高马铃薯贮藏品质。徐雪雪等<sup>[12]</sup>探究不同沟垄覆膜种植马铃薯三年连作根际土壤真菌群落多样性变化规律,揭示半膜垄播种植对镰孢菌引起的马铃薯病害具有一定防治作用。

本研究揭示了凹凸棒石对作物产量具有明显提高作用。蔺海明等<sup>[13]</sup>对马铃薯产量、品质效应与凹凸棒石之间的关系进行田间试验,结果表明凹凸棒石生态功能肥能有效提高马铃薯产量,凹凸棒石和混合肥配施使马铃薯增产46.85%~59.95%,本研究结果与蔺海明等<sup>[13]</sup>基本一致。丁亮等<sup>[14]</sup>研究结果中也得出同样结论,凹凸棒石可提高马铃薯产量和商品率,可增产154.88~397.44 kg/hm<sup>2</sup>,且发现凹凸棒石用量与产量有一定相关性。周建军等<sup>[15]</sup>试验结果表明,凹凸棒石与氮磷钾肥配施使马铃薯地上茎叶鲜质量最大值提高了9.33%~62.74%,凹凸棒石和氮磷钾肥配施较单施氮磷钾肥,马铃薯产量增加5.57%~27.04%。本研究发现半膜覆盖垄播栽培模式结合凹凸棒石施用能提高马铃薯总产、商品薯产量、单株块茎数、商品薯率,表明此模式对马铃薯生长有促进作用。

本研究发现,旱作栽培模式结合凹凸棒石新型肥料施用可不同程度提升马铃薯块茎内铁、锌、钙、镁元素含量,提升幅度为12.10%~30.74%。同时,施用凹凸棒石新型肥料可提升马铃薯块茎内干物质、淀粉、蛋白质、维生素C含量,采用半膜垄

播栽培模式与施用凹凸棒石量为1 200 kg/hm<sup>2</sup>与复合肥料为450 kg/hm<sup>2</sup>时, 马铃薯块茎内四种营养品质提升幅度为5.16%~75.65%, 其中, 平作覆膜淀粉相对对照处理平均提升幅度为29.3%, 半膜垄播栽培模式下淀粉相对对照(CK<sub>2</sub>)处理提升幅度为24.1%。这与蔺海明等<sup>[13]</sup>研究所得出凹凸棒石和混合肥配施可使马铃薯淀粉含量提高的结论一致。

凹凸棒石含有十几种动植物可直接吸收的微量元素, 诸如铜、锌、钒、钼、硒、碘、铁、硼等, 镁元素主要在叶片叶绿素分子合成与叶片光合作用等生理活动方面起主要调控作用。本研究发现, 平作覆膜栽培与半膜垄播栽培模式结合凹凸棒石施用条件下, 植株体内镁元素含量提升幅度最高, 相比对照(CK<sub>1</sub>)提升29.69%, 相比对照(CK<sub>2</sub>)提升30.74%。因此, 凹凸棒石在提升块茎内镁含量与促进植株光合作用方面可进一步研究其机理性。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 孙海涛, 孟玉哈. 绿色发展理念下农业生态补偿法律机制的困局与对策 [J]. 湖北农业科学, 2022, 61(24): 224-228.
- [ 2 ] 王亚菲, 石岩. 凹凸棒石在农业生产上应用进展 [J]. 耕作与栽培, 2016(2): 69-72.
- [ 3 ] 雒军, 王引权, 彭桐. 凹凸棒石调节源-库关系提高当归药材产量和总阿魏酸含量 [J]. 中国中药杂志, 2022, 47(15): 4042-4047.
- [ 4 ] 雒军, 王引权, 郭兰萍, 等. 凹凸棒石的土壤生态效应及其在中药材生态种植中的应用前景 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(9): 2031-2035.
- [ 5 ] 陈馨, 蔺海明, 刘恬, 等. 凹凸棒复合土壤调理剂对苦荞产量及重金属吸收量的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2020(7): 28-31.
- [ 6 ] 刘左军, 陈正宏, 袁惠君, 等. 凹凸棒石粘土对土壤团粒结构及小麦生长的影响 [J]. 土壤通报, 2010, 41(1): 142-144.
- [ 7 ] 王依惠, 张叶子, 王亚菲, 等. 凹凸棒石保水剂对小麦旗叶光合特性及衰老的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020(4): 202-207.
- [ 8 ] 柴宗越, 陈馨, 强浩然, 等. 凹凸棒石添加量对草莓栽培基质及果实品质产量的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2020(4): 47-52.
- [ 9 ] 王钰轩, 俄胜哲, 袁金华, 等. 凹凸棒添加对有机肥发酵温度及养分的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(12): 2779-2787.
- [ 10 ] 宋婷婷, 刘斌, 寇燕燕, 等. 起垄覆膜方式对旱作马铃薯栽培土壤酶活性的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2019(4): 52-56.
- [ 11 ] 赵敏, 秦舒浩, 张俊莲, 等. 贮藏温度对连作马铃薯品质的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(2): 49-54.
- [ 12 ] 徐雪雪, 王东, 秦舒浩, 等. 沟垄覆膜连作马铃薯根际土壤真菌多样性分析 [J]. 水土保持学报, 2015, 29(6): 301-306.
- [ 13 ] 蔺海明, 刘学周, 王蒂, 等. 坡缕石生态功能肥对马铃薯产量和品质效应研究 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(21): 292-295.
- [ 14 ] 丁亮, 王蒂, 蔺海明, 等. 坡缕石种薯包衣剂对马铃薯产量及品质的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(6): 79-83.
- [ 15 ] 周建军, 王蒂, 蔺海明, 等. 坡缕石对马铃薯干物质积累及产量的影响 [J]. 西北农业学报, 2010, 19(2): 89-94.