

施肥、起垄和品种对黄土高原新造耕地 马铃薯氮磷钾吸收与分配的影响

王凯博¹, 陈怡平¹, 郑太波³, 魏蓉⁴, 孙琦⁴, 李媛³, 上官周平⁵, 张永旺²

(1.中国科学院地球环境研究所,黄土与第四纪地质国家重点实验室,陕西 西安 710061;2.延安大学生命科学学院,陕西 延安 716000;

3.延安市农业科学研究所,陕西 延安 716000;4.西安地球环境创新研究院,陕西 西安 710061;

5.西北农林科技大学水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

摘要:于2019—2020年在黄土高原延安地区选择典型新造耕地,开展不同栽培措施和品种下马铃薯氮、磷和钾元素吸收量及其分配规律的研究。试验设7个处理,分别为克新1号+NPK(氮磷钾无机肥)+平作(CK)、克新1号+NPK+起垄(T1)、克新1号+NPKM(氮磷钾无机肥+有机肥)+平作(T2)、克新1号+NPKM+起垄(T3)、陇薯7号+NPKM+起垄(T4)、NK001/冀张薯8号+NPKM+起垄(T5)和青薯9号+NPKM+起垄(T6)。结果表明,新造耕地马铃薯块茎氮、磷和钾含量最高,其次为地上部,根系最低。品种差异对马铃薯不同部位氮含量分配格局有一定影响,但对磷、钾含量分配格局影响不大。与克新1号(T3)相比,陇薯7号(T4)和青薯9号(T6)马铃薯块茎氮含量分别平均下降47.5%和46.6%。起垄和增施有机肥没有显著改变新造耕地马铃薯氮、磷和钾元素吸收量及其分配格局;栽培品种对马铃薯氮、磷和钾吸收量影响显著,陇薯7号(T4)和青薯9号(T6)马铃薯氮、磷和钾元素吸收量分别是克新1号(T3)的1.8倍和1.3倍、2.2倍和1.4倍、2.5倍和1.7倍;并且其植株地上部分氮、磷和钾元素分配比例也明显高于克新1号。研究区新造耕地马铃薯平均N、P₂O₅、K₂O吸收量分别为50.8、22.5、161.3 kg,在不考虑增施有机肥情况下,建议施用N:P₂O₅:K₂O用量和比例为142:145:320 kg·hm⁻²。

关键词:马铃薯;栽培措施;品种;氮磷钾;吸收与分配;黄土高原

中图分类号:S532;S35;S158.3 **文献标志码:**A

Effects of fertilization, ridging and variety on absorption and allocation of nitrogen, phosphorus, and potassium in newly cultivated potato on the Loess Plateau

WANG Kaibo¹, CHEN Yiping¹, ZHENG Taibo³, WEI Rong⁴, SUN Qi⁴,
LI Yuan³, SHANGGUAN Zhouping⁵, ZHANG Yongwang²

(1. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710061, China; 2. College of Life Sciences, Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000, China;

3. Institute of Yan'an Agricultural Science Research, Yan'an, Shaanxi 716000, China;

4. Xi'an Institute for Innovative Earth Environment Research, Xi'an, Shaanxi 710061, China;

5. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To increase the potato yield of newly cultivated land on the Loess Plateau and determine the appropriate amount of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer, a typical newly cultivated land was selected in Yan'an area of the Loess Plateau from 2019 to 2020. The absorption and allocation of nitrogen, phosphorus, and potassium in potato under different cultivation measures and varieties were studied. The experiment included 7 treatments: Kexin 1 + NPK (inorganic fertilizer; N: nitrogen, P: phosphorus; K: potassium) + flat cultivating (CK), Kexin 1 + NPK+ ridging (T1), Kexin 1 + NPKM (inorganic fertilizer + organic fertilizer) + flat cultivating (T2), Kexin 1 + NPKM+ ridging (T3), Longshu 7 + NPKM+ ridging (T4), NK001/ Jizhangshu 8 + NPKM+ ridging (T5), and Qingshu 9 + NPKM+ ridging (T6). The results showed that the contents of N, P and K were the high-

est in potato tuber, the aboveground part was the second, and the root system was the lowest. The difference of varieties had a significant effect on the allocation pattern of N content in different parts of potato but had little effect on the allocation pattern of P and K content. In comparing with Kexin 1 (T3), the tuber nitrogen content of Longshu 7 (T4) and Qingshu 9 (T6) decreased by 47.5% and 46.6%, respectively. Ridging and application of organic fertilizer did not significantly change the uptake and allocation pattern of N, P and K in newly cultivated land, but cultivated varieties had significant effects on N, P and K uptake. The uptake of N, P and K in potato varieties Longshu 7 (T4) and Qingshu 9 (T6) were 1.9 times and 1.3 times, 2.2 times and 1.4 times, 2.5 times and 1.7 times higher than that of local main variety Kexin 1 (T3), and the allocation of N, P and K in aboveground part of potato were also significantly higher than that of Kexin 1. The average N, P_2O_5 and K_2O uptake of potato in the newly cultivated land in the study area was 50.8, 22.5, 161.3 kg, respectively. Without considering the application of organic fertilizer, the recommended amount and proportion of N, P_2O_5 and K_2O would be 142 : 145 : 320 kg · hm⁻².

Keywords: potato; cultivation measures; varieties; nitrogen, phosphorus and potassium; uptake and allocation; Loess Plateau

马铃薯是全球第四大粮食作物,具有高产、耐旱、耐寒、耐瘠薄等特点,在我国西北黄土高原地区大面积种植,是该区最重要的粮食作物之一^[1-2]。由于土壤地力、栽培品种和栽培措施等的差异,不同地区马铃薯产量差别很大^[3]。全球马铃薯平均产量为 18 t · hm⁻²,欧美发达国家马铃薯平均产量为 45 t · hm⁻²,而我国马铃薯平均产量只有 17 t · hm⁻²,我国西北地区马铃薯平均产量不足 15 t · hm⁻²^[4]。合理施肥是提高马铃薯产量,增加马铃薯品质的重要途径,同时也是减少农业面源污染,促进农业绿色发展的重要手段^[5]。对马铃薯氮、磷和钾吸收与分配规律的科学认识是合理施肥的关键。尽管对马铃薯氮、磷和钾吸收与分配特征及其合理施肥已有大量研究,但是不同研究关于马铃薯适宜施肥量及施肥比例的研究结果存在较大差异^[6]。如:段玉等^[7]在内蒙古武川县和察右中旗 15 项试验中平均推荐 N : P_2O_5 : K_2O 用量和比例为 190 : 97 : 137 kg · hm⁻²;张朝春等^[8]在甘肃省景泰县、内蒙古达拉特旗和河北省沽源县 3 个马铃薯生产基地推荐 N : P_2O_5 : K_2O 用量和比例为 180 : 180 : 225 kg · hm⁻²;何文寿等^[9]在宁夏西吉县、原州区、同心县和红寺堡区等 4 个不同马铃薯试验基地推荐的 N : P_2O_5 : K_2O 用量和比例分别为 150 : 90 : 60、180 : 90 : 45、195 : 105 : 75 kg · hm⁻²和 180 : 90 : 105 kg · hm⁻²。上述差异表明不同地区、品种和栽培方式下马铃薯对氮、磷和钾养分的需求不同。因此,开展不同区域马铃薯氮、磷、钾元素吸收与分配规律研究十分有必要,对于因地制宜指导区域合理施肥具有重要意义。

为了解决黄土高原生态建设和粮食生产之间的矛盾,国家在黄土高原退耕还林还草工程重点实

施区域延安市开展了治沟造地试点工程^[10]。截止 2018 年底,在延安地区已完成治沟造地面积约 34 000 hm²。然而,新造耕地土壤贫瘠,作物生产力较低^[11-12]。苏翠翠^[13]对比研究了延安新造耕地不同作物产量后发现,马铃薯对新造耕地适应性最强,但其产量也只有 9 t · hm⁻²,低于当地现有马铃薯平均产量。如何提高新造耕地马铃薯产量,高效利用新造耕地是当前迫切需要解决的问题。为此,本研究以黄土高原典型新造耕地马铃薯为研究对象,探讨不同栽培品种和栽培措施对马铃薯氮、磷和钾元素吸收与分配规律的影响,筛选适宜该区气候和土壤条件的马铃薯品种和栽培技术,以期为新造耕地马铃薯合理施肥和产量提高提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省延安市农业科学研究所沙渠湾试验基地(109°20′51.4″E,36°47′58.3″N)。该区属中温带大陆性半干旱季风气候,平均降雨量 505.3 mm,平均气温 8.8℃。试验样地为 2018 年新造耕地,当年未种植作物,2019 年开始种植马铃薯。试验区土壤类型为黄绵土,0~40 cm 土层土壤 pH 值为 8.6,有机质含量 6.1 g · kg⁻¹,全氮含量 0.29 g · kg⁻¹,全磷含量 0.63 g · kg⁻¹,全钾含量 18.0 g · kg⁻¹,碱解氮含量 16.1 mg · kg⁻¹,有效磷含量 5.4 mg · kg⁻¹,有效钾含量 83.7 mg · kg⁻¹,阳离子交换量 5.2 cmol · kg⁻¹。2019 年和 2020 年研究区全年降水量分别为 524.6 mm 和 698.3 mm,马铃薯生育期(6—9 月)降水量分别为 423.8 mm 和 573.6 mm;全年平均气温分别为 9.6℃和 9.4℃,生育期内平均气温分别为 19.9℃和 19.5℃,均高于当地多年平均水平。

1.2 试验设计

本研究设计两组试验,每组试验设 4 个处理,两组试验包含 1 个共同处理(表 1)。试验采用完全随机区组设计,每个处理 3 次重复。第一组试验(CK, T1~T3)以当地主栽马铃薯品种克新 1 号为供试品种,研究栽培措施对新造耕地马铃薯氮(N)、磷(P)、钾(K)养分吸收与分配的影响。各处理分别为:克新 1 号+NPK+平作(CK)、克新 1 号+NPK+起垄(T1)、克新 1 号+NPKM+平作(T2, M 代表农家肥)和克新 1 号+NPKM+起垄(T3)。第二组试验(T3~T6)马铃薯栽培措施相同,研究栽培品种对新造耕地马铃薯氮、磷、钾养分吸收与分配的影响。试验设 4 个品种处理,以 T3 为对照,其他 3 个处理分别为:陇薯 7 号+NPKM+起垄(T4)、NK001/冀张薯 8 号+NPKM+起垄(T5)和青薯 9 号+NPKM+起垄(T6)。

试验小区面积 $35.8 \text{ m}^2 (6.4 \text{ m} \times 5.6 \text{ m})$,马铃薯种植株距 40 cm,行距 60 cm,种植密度为 $57\ 000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。每公顷化肥用量为 $\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O} = 150 : 60 : 345 \text{ kg}$,每公顷农家肥用量 30 000 kg。其中 70%的氮、钾肥作基肥,播种时施用,30%作追肥,盛花期施用;农家肥和磷肥全部作基肥施用,施用方式为撒施。平作处理马铃薯种植采用当地传统穴播种植方式;起垄处理采用人工起垄,垄宽 60 cm,垄高 20 cm。小区之间设 0.8 m 保护行,样地四周留 1.0 m 保护行。2019 年马铃薯种植时间为 6 月 7 日,收获时间为 10 月 18 日;2020 年马铃薯种植时间为 5 月 28 日,收获时间克新 1 号品种为 9 月 24 日,其他品种为 10 月 12 日。除上述处理差异外,其他管理方式与当地农户相同。

1.3 测定指标与方法

生物量测定:采用全区收获法测定马铃薯地

上、根系和块茎生物量(g)。将马铃薯地上、根系和块茎生物量的鲜质量称重后,取部分样品 60°C 烘干后测定其样品干质量(g),计算单位面积马铃薯地上、根系和块茎干物质质量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

氮、磷和钾含量测定:将烘干后的马铃薯地上、根系和块茎样品粉碎后过 100 目筛,分别测定各部分氮、磷和钾含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。其中,全氮采用凯氏定氮法测定,全磷采用钒钼黄比色法测定,全钾采用火焰光度计法测定^[14]。

植株氮、磷和钾养分吸收量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$):等于植株各部分氮、磷和钾乘以相应部分干物质质量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2013 软件进行数据处理和绘图,采用 SPSS 16.0 软件进行不同处理间差异显著性检验,采用 LSD 法进行不同处理间多重比较分析($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同处理下新造耕地马铃薯生物量与分配特征

2.1.1 栽培措施对马铃薯生物量及其分配的影响

新造耕地克新 1 号马铃薯块茎生物量在 2019 年和 2020 年分别为 $14.5 \sim 16.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $12.5 \sim 15.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与 CK 相比,T1、T2 和 T3 没有显著增加新造耕地马铃薯块茎、地上和根系生物量(表 2)。克新 1 号马铃薯块茎生物量占总生物量比例为 $83.2 \sim 95.2\%$,地上部生物量占总生物量的 $4.1 \sim 15.0\%$,根系生物量占总生物量 $0.6 \sim 1.9\%$ (表 2)。

2.1.2 栽培品种对马铃薯生物量及其分配的影响

不同品种马铃薯块茎、地上部、根系和总生物量均表现出显著差异($P < 0.05$)。T4 和 T6 处理马铃薯两年平均块茎生物量较 T3 处理分别增加 56.6%

表 1 不同试验处理

Table 1 Description of different experimental treatments

| 处理 Treatment | 栽培品种 Cultivated variety | 农家肥 Manure /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) | N /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) | P_2O_5 /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) | K_2O /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) | 栽培方式 Cultivation mode |
|-----------------|----------------------------|--|--|---|---|--------------------------|
| CK | 克新 1 号 Kexin 1 | 0 | 150 | 60 | 345 | 平作 Flat planting |
| T1 | 克新 1 号 Kexin 1 | 0 | 150 | 60 | 345 | 起垄 Ridging planting |
| T2 | 克新 1 号 Kexin 1 | 30 | 150 | 60 | 345 | 平作 Flat planting |
| T3 | 克新 1 号 Kexin 1 | 30 | 150 | 60 | 345 | 起垄 Ridging planting |
| T4 | 陇薯 7 号 Longshu 7 | 30 | 150 | 60 | 345 | 起垄 Ridging planting |
| T5 | NK001/冀张薯 8 号 Jizhangshu 8 | 30 | 150 | 60 | 345 | 起垄 Ridging planting |
| T6 | 青薯 9 号 Qingshu 9 | 30 | 150 | 60 | 345 | 起垄 Ridging planting |

注:本试验施用农家肥为羊粪,氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾。T5 处理 2019 年栽植马铃薯品种为 NK001,由于产量较低,2020 年更换为冀张薯 8 号。

Note: In this experiment, the manure was sheep manure, the nitrogen fertilizer was urea, the phosphate fertilizer was calcium superphosphate, and the potassium fertilizer was potassium chloride. In T5 treatment, the potato variety NK001 which planted in 2019 was replaced by Ji Zhangshu 8 in 2020 because of its low yield.

和 31.9%;而 T5 处理块茎产量与 T3 相当(2020 年)或略低(2019 年)(表 3)。不同品种马铃薯地上部、根系和总生物量与块茎生物量变化趋势相似,均表现为 T4 和 T6 处理显著高于其他品种(表 3)。T3 块茎生物量占总生物量比例最高,两年平均占比为 88.1%;T4 和 T6 处理块茎生物量占总生物量比例较低,两年平均占比分别为 57.4%和 66.4%(表 3)。

2.2 不同处理下新造耕地马铃薯氮、磷、钾含量与分配特征

2.2.1 栽培措施对马铃薯氮、磷、钾含量及其分配的影响

新造耕地克新 1 号马铃薯块茎、地上部和根系氮含量分别为 10.5~19.1、12.8~15.5、6.7~12.3 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$;磷含量分别为 2.0~2.5、0.7~1.4、0.7~2.1 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$;钾含量分别为 32.3~33.5、16.0~30.1、13.1~19.1 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。总体上看,马铃薯块茎氮、磷和钾含量最高,其次为地上部分,根系最低。与 CK 相比,T1、T2 和 T3 处理均没有显著提高新造耕地马铃薯块茎、地上部和根系氮、磷和钾含量,也没有改变

马铃薯氮、磷和钾含量的分配格局(图 1)。

2.2.2 栽培品种对马铃薯氮、磷、钾含量及其分配的影响

不同品种马铃薯块茎氮含量表现出显著差异,T3 和 T5 处理马铃薯块茎氮含量显著高于 T4 和 T6 处理,但地上和根系部分氮含量与 T4 和 T6 处理无显著差异(图 2)。与克新 1 号 T3 相比,T4 和 T6 品种块茎氮含量分别下降 46.4%~48.7%和 44.2%~49.0%。与氮含量相比,不同品种马铃薯块茎、地上部和根系的磷、钾含量差异较小。不同品种马铃薯各部位氮含量的分配格局也呈现一定差异,除 T3(2020 年)处理外,各品种马铃薯总体呈现地上部含氮量较高,块茎和根系含氮量差异不大。不同品种马铃薯磷含量均表现为块茎显著高于地上和根系部分,而地上和根系差异较小。除 T4(2020 年)处理外,不同品种马铃薯钾含量也总体表现为块茎最高,但地上部分与块茎钾含量差别较小,均显著高于根系钾含量(图 2)。总体上看,品种差异对马铃薯不同部位氮含量分配格局有一定影响,但对磷、钾含量分配格局影响不大。

表 2 栽培措施对马铃薯块茎、地上部、根系和总生物量及其分配格局的影响

Table 2 Effects of cultivation measures on tuber, aboveground, root, total biomass and its allocation of potato

| 年份 Year | 处理 Treatment | 块茎鲜质量 Tuber biomass /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) | 占比 Percent/% | 地上部鲜质量 Aboveground biomass /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) | 占比 Percent/% | 根系鲜质量 Root biomass /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) | 占比 Percent/% | 总鲜质量 Total biomass /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) |
|------------|-----------------|--|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|---|
| 2019 | CK | 16.0±2.6Aa | 90.9 | 1.5±0.7Aa | 8.3 | 0.1±0.04Aa | 0.7 | 17.6±3.2Aa |
| | T1 | 14.5±3.2Aa | 92.2 | 1.1±0.1Aa | 6.9 | 0.1±0.02Ba | 0.9 | 15.7±3.3Aa |
| | T2 | 14.6±2.1Aa | 95.2 | 0.6±0.3Ba | 4.1 | 0.1±0.01Ba | 0.6 | 15.3±2.1Aa |
| | T3 | 16.0±1.3Aa | 91.4 | 1.4±0.4Ba | 7.8 | 0.1±0.03Ba | 0.8 | 17.6±1.3Aa |
| 2020 | CK | 12.5±0.9Ba | 88.5 | 1.4±0.6Aa | 10.1 | 0.2±0.02Aa | 1.4 | 14.2±1.4Aa |
| | T1 | 15.1±1.0Aa | 89.3 | 1.6±0.2Aa | 9.2 | 0.2±0.05Aa | 1.5 | 16.9±0.7Aa |
| | T2 | 14.4±3.0Aa | 83.2 | 2.6±0.6Aa | 15.0 | 0.3±0.12Aa | 1.8 | 17.3±3.1Aa |
| | T3 | 14.6±1.0Aa | 84.8 | 2.3±0.4Aa | 13.3 | 0.3±0.13Aa | 1.9 | 17.3±2.2Aa |

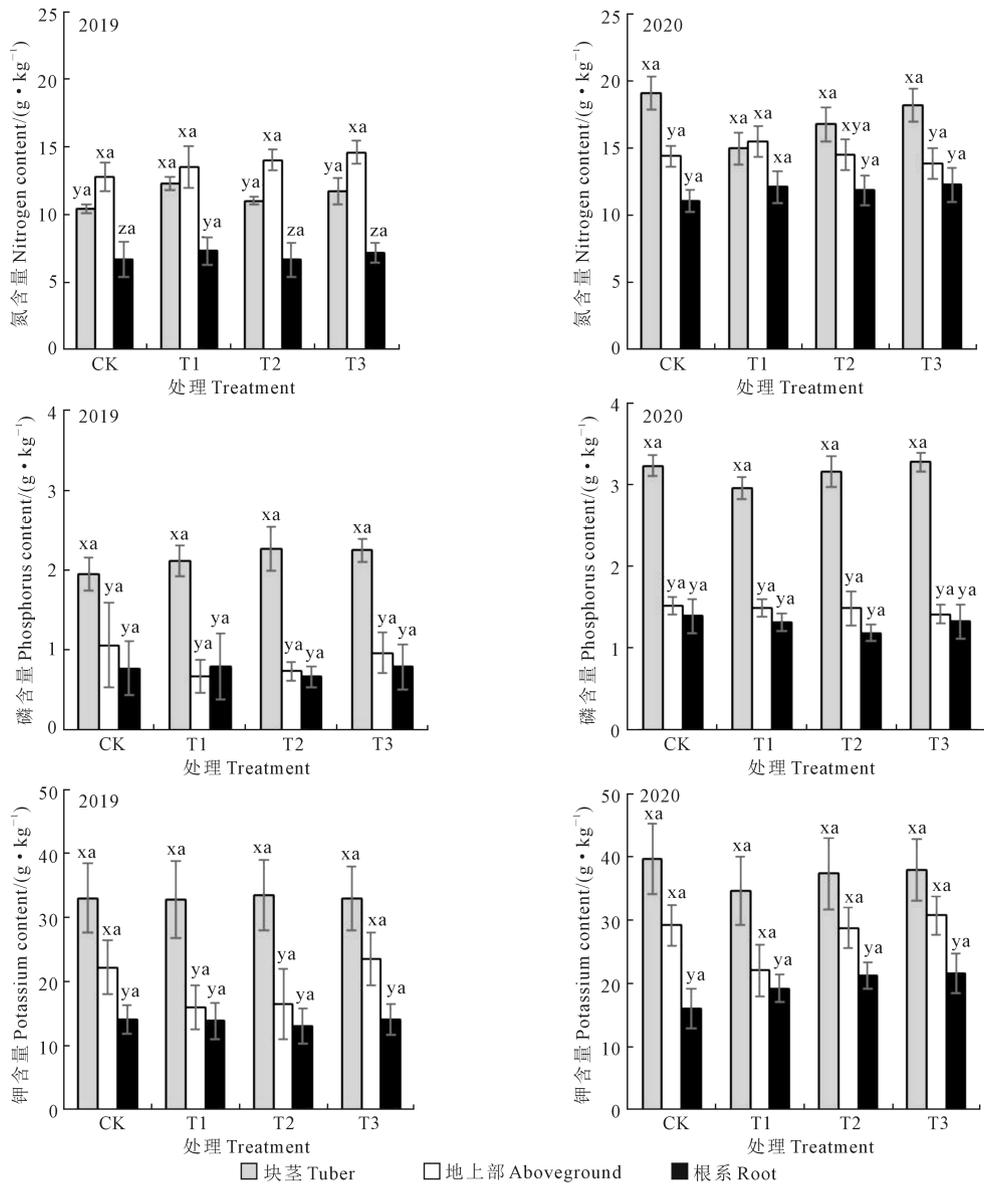
注:表中数据为平均值±标准差;不同小写字母表示相同年份不同处理间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示相同处理不同年份间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note:The data in the table are mean ± standard deviation. Different lowercase letters show significant differences among different treatments in the same year ($P<0.05$); and different uppercase letters indicate significant differences among different years of the same treatment ($P<0.05$). The same as below.

表 3 栽培品种对马铃薯块茎、地上部、根系和总生物量及其分配格局的影响

Table 3 Effects of cultivated varieties on tuber, aboveground, root, total biomass and its allocation of potato

| 年份 Year | 处理 Treatment | 块茎鲜质量 Tuber biomass /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) | 占比 Percent/% | 地上部鲜质量 Aboveground biomass /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) | 占比 Percent/% | 根系鲜质量 Root biomass /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) | 占比 Percent/% | 总鲜质量 Total biomass /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) |
|------------|-----------------|--|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|---|
| 2019 | T3 | 16.0Ab | 91.4 | 1.4Ac | 7.8 | 0.1Bb | 0.8 | 17.6Ab |
| | T4 | 24.3Aa | 54.9 | 19.1Aa | 43.2 | 0.8Aa | 1.9 | 44.2Aa |
| | T5 | 7.2Bc | 72.1 | 2.6Ac | 26.2 | 0.2Bb | 1.7 | 10.0Bb |
| | T6 | 17.0Ab | 57.9 | 11.5Ab | 39.2 | 0.9Aa | 2.9 | 29.3Aa |
| 2020 | T3 | 14.6Ab | 84.8 | 2.3Ac | 13.3 | 0.3Ab | 1.9 | 17.3Ab |
| | T4 | 23.7Aa | 59.8 | 15.0Aa | 37.9 | 0.9Aa | 2.4 | 39.7Aa |
| | T5 | 15.9Ab | 88.9 | 1.6Ac | 8.8 | 0.4Ab | 2.3 | 17.9Ab |
| | T6 | 23.5Aa | 74.9 | 6.8Bb | 21.8 | 1.0Aa | 3.3 | 31.3Aa |



注:a, b, c 表示马铃薯相同部位不同处理间氮、磷、钾元素含量差异显著 ($P < 0.05$); x, y, z 表示马铃薯相同处理不同部位间氮、磷、钾元素含量差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: a, b and c indicate significant differences in the contents of nitrogen, phosphorus and potassium in different treatments in the same part of potato ($P < 0.05$); and x, y, z indicate significant differences in contents of nitrogen, phosphorus and potassium in different parts of potato in the same treatment ($P < 0.05$). The same as below.

图 1 栽培措施对马铃薯块茎、地上部和根系氮、磷、钾含量的影响

Fig.1 Effects of cultivation measures on the contents of nitrogen, phosphorus and potassium in tubers, aboveground and roots of potato

2.3 不同处理下新造耕地马铃薯氮、磷、钾储量与分配特征

2.3.1 栽培措施对马铃薯氮、磷、钾储量及其分配的影响 新造耕地克新 1 号马铃薯 2019 年和 2020 年总氮储量分别为 29.0~35.8 kg·hm⁻² 和 43.4~51.7 kg·hm⁻², 总磷储量分别为 5.4~6.4 kg·hm⁻² 和 7.3~8.8 kg·hm⁻², 总钾储量分别为 84.5~96.4 kg·hm⁻² 和 92.7~108.6 kg·hm⁻²。其中, 块茎氮、磷、钾储量占总氮、磷、钾储量的 85% 以上, 其次为

地上部分, 根系占比最小。总体上看, 起垄和施肥处理没有显著改变克新 1 号马铃薯氮、磷和钾储量及其分配格局 (表 4)。

2.3.2 栽培品种对马铃薯氮、磷、钾储量及其分配的影响 T4 和 T6 处理马铃薯氮、磷和钾储量显著高于 T3 和 T5 处理。T4 和 T6 处理马铃薯两年平均总氮储量分别是 T3 处理的 1.8 倍和 1.3 倍, 平均总磷储量是 T3 处理的 2.2 倍和 1.4 倍, 平均总钾储量是 T3 处理的 2.5 倍和 1.7 倍。并且, T4 和 T6 处理

马铃薯地上部分氮、磷和钾储量占比分别为 56.4% 和 44.3%、28.8% 和 18.2%、45.3% 和 31.7%，明显高于 T3 和 T5 处理。T3 和 T5 处理地上部分氮、磷和钾储量占比分别为 10.6% 和 25.4%、5.2% 和 11.7%、8.8% 和 16.8%。栽培品种对马铃薯氮、磷、钾储量及其分配格局均产生显著影响(表 4)。

3 讨论

3.1 栽培措施对马铃薯氮、磷和钾元素吸收与分配的影响

合理的栽培措施是提高作物产量的重要途径^[15-16]。通常情况下,起垄和施肥都能促进马铃薯

的产量形成,进而增加马铃薯对土壤中氮、磷和钾元素的吸收量^[7, 17-18]。然而,本研究中起垄和增施有机肥并未显著增加新造耕地马铃薯产量和植株氮、磷、钾吸收量(表 2,表 4)。垄作栽培马铃薯增产的原因主要有两个方面,一是起垄降低了土壤容重,增加土壤疏松度,有利于马铃薯块茎的形成与膨大^[17];二是起垄增加了地表土壤的受光面积,促进了土壤热量的吸收与耗散,增加了土壤昼夜温差,有利于光合产物在马铃薯块茎的积累^[19]。但是,不同栽培措施对马铃薯块茎产量及氮、磷和钾元素吸收量的影响依赖当地的气候、土壤等环境条件^[20]。本研究马铃薯种植土壤为新造耕地。新造

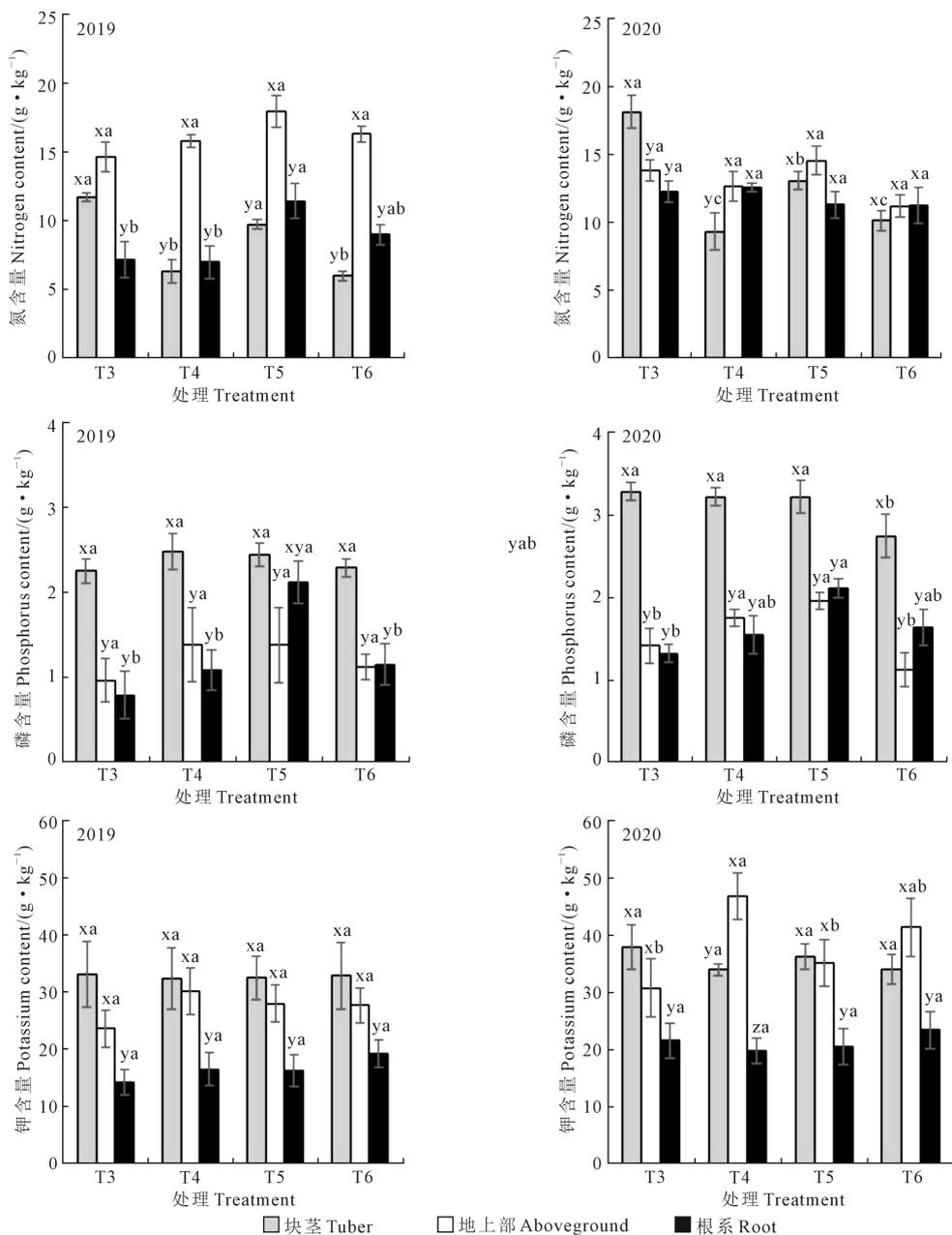


图 2 栽培品种对马铃薯块茎、地上部和根系氮、磷、钾含量的影响

Fig.2 Effects of cultivated varieties on the contents of nitrogen, phosphorus and potassium in tubers, aboveground and roots of potato

表 4 栽培措施和品种对马铃薯块茎、地上部和根系氮、磷、钾储量的影响
Table 4 Effects of cultivation measures and varieties on the storage of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in tubers, aboveground and roots of potato

| 年份 Year | 处理 Treatment | 氮储量 N stocks/(kg·hm ⁻²) | | | 磷储量 P stocks/(kg·hm ⁻²) | | | 钾储量 K stocks/(kg·hm ⁻²) | | | | | |
|------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------|------------|-------------------------------------|--------------------|------------|-------------------------------------|--------------------|-------------|-------------|----------|--------------|
| | | 块茎 Tuber | 地上部 Aboveground | 根系 Root | 块茎 Tuber | 地上部 Aboveground | 根系 Root | 块茎 Tuber | 地上部 Aboveground | 根系 Root | 总量 Total | | |
| 2019 | CK | 28.4±4.6a | 3.4±1.6d | 0.2±0.1c | 32.0±6.0c | 5.3±0.9b | 0.3±0.1d | 0.0±0.0c | 5.6±1.0c | 89.8±14.5bc | 5.9±2.7d | 0.4±0.1b | 96.1±16.9c |
| | T1 | 30.3±6.6a | 2.7±0.3d | 0.2±0.0c | 33.2±7.0c | 5.2±1.1b | 0.1±0.0d | 0.0±0.0c | 5.4±1.2c | 81.0±17.7c | 3.1±0.4de | 0.4±0.1b | 84.5±18.2c |
| | T2 | 27.3±4.0a | 1.6±0.7d | 0.1±0.0c | 29.0±3.5cd | 5.6±0.8b | 0.1±0.0d | 0.0±0.0c | 5.7±0.8c | 83.1±12.1c | 1.9±0.8e | 0.3±0.0b | 85.2±11.5c |
| | T3 | 32.0±2.7a | 3.6±1.0d | 0.2±0.0c | 35.8±2.8c | 6.1±0.5b | 0.2±0.1d | 0.0±0.0c | 6.4±0.5c | 90.2±7.5b | 5.8±1.5d | 0.4±0.1b | 96.4±7.7c |
| | T4 | 26.0±1.5a | 54.3±12.1a | 1.2±0.1a | 81.5±13.7a | 10.2±0.6a | 4.7±1.1a | 0.2±0.0a | 15.2±1.6a | 133.4±7.5a | 103.6±23.1a | 2.7±0.3a | 239.7±30.8a |
| | T5 | 11.9±2.0c | 8.5±2.3c | 0.4±0.1b | 20.8±4.4d | 3.0±0.5c | 0.7±0.2c | 0.1±0.0b | 3.7±0.7d | 39.9±6.8d | 13.2±3.6c | 0.5±0.1b | 53.7±10.5d |
| 2020 | T6 | 17.3±4.2b | 33.7±15.6b | 1.5±0.4a | 52.5±20.1b | 6.6±1.6b | 2.3±1.1b | 0.2±0.1a | 9.1±2.7b | 94.8±23.1b | 57.2±26.4b | 3.3±0.9a | 155.2±50.1bc |
| | CK | 40.7±2.8ab | 3.7±1.5c | 0.4±0.0c | 44.8±4.3bc | 6.9±0.5c | 0.4±0.2c | 0.1±0.0b | 7.3±0.6c | 84.5±5.8b | 7.5±3.1c | 0.6±0.1c | 92.7±8.8c |
| | T1 | 38.4±2.5b | 4.4±3.5c | 0.6±0.1bc | 43.4±1.9bc | 7.6±0.5bc | 0.4±0.3c | 0.1±0.0b | 8.1±0.3c | 89.0±5.8b | 6.2±5.0c | 0.9±0.2c | 96.2±3.0c |
| | T2 | 41.0±8.6a | 6.8±4.2c | 0.7±0.3b | 48.5±8.7bc | 7.7±1.6bc | 0.7±0.4c | 0.1±0.0b | 8.5±1.6c | 91.4±19.1b | 13.4±8.3c | 1.3±0.5b | 106.2±19.1c |
| | T3 | 45.2±3.0a | 5.7±3.5c | 0.8±0.3b | 51.7±5.9b | 8.2±0.5b | 0.6±0.4c | 0.1±0.0b | 8.8±0.8c | 94.5±6.2b | 12.7±7.9c | 1.4±0.6b | 108.6±12.6c |
| | T4 | 37.6±4.9b | 34.4±9.8a | 2.4±0.1a | 74.4±14.5a | 13.0±1.7a | 4.7±1.3a | 0.3±0.0a | 18.0±3.0a | 137.3±18.0a | 126.6±35.9a | 3.7±0.1a | 267.6±53.1a |
| | T5 | 35.4±2.8b | 4.1±0.8c | 0.9±0.1b | 40.5±3.4c | 8.7±0.7b | 0.6±0.1c | 0.2±0.0a | 9.5±0.8bc | 98.4±7.7b | 10.0±1.9c | 1.7±0.3b | 110.1±9.2c |
| | T6 | 40.5±7.3a | 13.8±0.5b | 2.3±0.7a | 56.5±7.6b | 10.9±2.0ab | 1.4±0.0b | 0.3±0.1a | 12.7±2.0b | 135.7±24.4a | 50.8±1.7b | 4.8±1.5a | 191.3±25.9b |

耕地是利用现代化机械将沟坡高处土壤覆盖到沟下低处土壤形成,其土壤被压实平整后使用大型农用机械进行了多次深翻耙平,耕层土壤相对疏松,土壤结构对马铃薯块茎形成与膨大限制作用较小。同时,研究区所在地位于我国陕北黄土高原地区,该区昼夜温差相对较大,马铃薯生长季节6—9月日平均温度超过20℃,高于或接近马铃薯生长最适温度。因此,对于研究区新造耕地,土壤结构和温度均不是马铃薯生长主要制约因素,对马铃薯氮、磷和钾元素吸收与分配没有显著影响。

有机肥主要通过提高土壤有机质含量、改善土壤空隙结构等来培肥土壤,促进作物生长;而化肥则可以迅速提高土壤主要养分的浓度,满足作物生长需要^[21]。除部分处理增施有机肥外,研究区不同处理马铃薯样地均施用了等量的化肥。按照施用化肥N、P₂O₅和K₂O的养分利用率分别为35.9%、15.6%和50.4%计算^[7],每公顷土地化肥可提供N、P₂O₅和K₂O分别为53.9、9.4、173.9 kg,基本能满足研究区克新1号马铃薯N(29.0~51.7 kg)、P₂O₅(12.2~20.1 kg)和K₂O(101.9~130.9 kg)的吸收量。加之,新造耕地有机肥培肥时间较短,有效性养分释放缓慢,故在施用足量化肥的情况下增施有机肥没有显著提高新造耕地克新1号马铃薯氮、磷和钾元素的吸收量,也未明显改变氮、磷和钾元素在植株不同部位的分配格局。

3.2 栽培品种对马铃薯氮、磷和钾元素吸收与分配的影响

马铃薯不同处理间养分吸收的差异主要由块茎产量决定^[20,22]。不同马铃薯品种之间的产量差异极为显著^[23-25]。本研究中不同马铃薯品种氮、磷和钾的吸收量表现出显著差异,并且氮、磷和钾在植株各部分的分配格局也有明显不同(表4),这主要由不同品种马铃薯生物量及其分配差异引起(表3)。马铃薯氮、磷和钾的吸收量变异较大。每生产1 000 kg块茎马铃薯N吸收量在1.0~10.0 kg之间变化,其主要分布范围为3.0~6.0 kg;P₂O₅吸收量在0.5~3.5 kg之间变化,其主要分布范围为0.5~2.0 kg;K₂O在2.0~12.0 kg之间变化,其主要分布范围为4.0~10.0 kg^[26]。本研究不同品种马铃薯每生产1 000 kg块茎的N、P₂O₅和K₂O吸收量分别为2.2~3.5、0.9~1.7 kg和7.2~13.6 kg,其变化范围与前人研究基本一致。与前人研究相比,新造耕地不同马铃薯品种对氮的吸收量偏低,对磷的吸收量居中,而对钾的吸收量较高。

马铃薯氮、磷和钾元素在植株内吸收与分配受

到生育期影响^[6-7,27]。在收获期,块茎是马铃薯氮、磷和钾元素的主要储存库。段玉等^[7]在内蒙古的试验发现,马铃薯块茎氮累积量占总氮吸收量的70%,磷和钾累积量占总磷、钾吸收量的82%和74%。何文寿等^[9]在宁夏的试验则发现,马铃薯块茎氮、磷累积量分别占各自总吸收量的60%以上,钾的累积量占钾总吸收量的50%。相比而言,本研究不同品种马铃薯块茎氮、磷和钾两年平均累积量变化分别为41.3%~88.4%、69.8%~94.2%和53.5%~90.3%。上述结果的差异反映了马铃薯植株对氮、磷、钾吸收与分配具有较大的时空变异性,这种高度变异性与马铃薯宽泛的环境适应性是一致的。

4 结 论

1)起垄和增施有机肥没有显著增加新造耕地马铃薯产量和植株氮、磷、钾元素的吸收量,也没有明显改变马铃薯氮、磷和钾元素在植株不同部位的分配比例,其原因与新造耕地土壤结构相对疏松、生育期土壤温度较高以及无机肥施用量充足等有关。

2)栽培品种对新造耕地马铃薯氮、磷和钾吸收量影响显著,陇薯7号和青薯9号马铃薯品种氮、磷和钾元素吸收量显著高于当地主栽品种克新1号,并且陇薯7号和青薯9号马铃薯氮、磷和钾元素在植株各部分的分配格局也与克新1号明显不同,其植株地上部分氮、磷和钾元素分配比例明显高于克新1号。

3)研究区新造耕地所有处理两年平均马铃薯N、P₂O₅、K₂O吸收量分别为50.8、22.5 kg和161.3 kg,参考马铃薯N、P₂O₅、K₂O养分利用率^[7],在不考虑增施有机肥情况下,需要N:P₂O₅:K₂O用量和比例为142:145:320 kg·hm⁻²。

参 考 文 献:

- [1] 谭雪莲,郭天文,张平良,等.不同复种油菜-轮作模式对马铃薯耗水特征及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2021(2):137-142.
TAN X L, GUO T W, ZHANG P L, et al. Effects of different rotation patterns with multiple cropping rape on water consumption and yield of potato[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021(2): 137-142.
- [2] 王凯博,张永旺,郑太波,等.延安市新造耕地马铃薯种植潜力初探[J].陕西农业科学,2020,66(11):3-8.
WANG K B, ZHANG Y W, ZHENG T B, et al. Preliminary study on potential for potato planting in new cultivated land in Yan'an[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2020, 66(11): 3-8.
- [3] ZHANG S H, WANG H D, SUN X, et al. Effects of farming practices on yield and crop water productivity of wheat, maize and potato in China: a meta-analysis[J]. Agricultural Water Management, 2021, 243: 106444.
- [4] 刘洋,高明杰,何威明,等.世界马铃薯生产发展基本态势及特点[J].中国农学通报,2014,30(20):78-86.
LIU Y, GAO M J, HE W M, et al. Analysis on the basic trend and

- characteristics of world potatoes production[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(20): 78-86.
- [5] 韩雪丰, 范茂攀, 刘润梅, 等. 云南省种植马铃薯农户氮磷钾养分投入及其土壤养分平衡状况分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(3): 538-543.
- HAN X F, FAN M P, LIU R M, et al. Analysis of potato farming NPK inputs and soil nutrient balance in Yunnan province[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science), 2019, 34(3): 538-543.
- [6] 董文, 范祺祺, 胡新喜, 等. 马铃薯养分需求及养分管理技术研究进展[J]. 中国蔬菜, 2017, (8): 21-25.
- DONG W, FAN Q Q, HU X X, et al. Research progress on technology for potato nutrient demand and nutrient management[J]. China Vegetables, 2017, (8): 21-25.
- [7] 段玉, 张君, 李焕春, 等. 马铃薯氮磷钾养分吸收规律及施肥肥效的研究[J]. 土壤, 2014, 46(2): 212-217.
- DUAN Y, ZHANG J, LI H C, et al. Fertilization effect and nutrition use efficiency of potato in inner Mongolia[J]. Soils, 2014, 46(2): 212-217.
- [8] 张朝春, 江荣风, 张福锁, 等. 氮磷钾肥对马铃薯营养状况及块茎产量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, (9): 279-283.
- ZHANG C C, JIANG R F, ZHANG F S, et al. Effect of different N, P₂O₅, K₂O fertilization rate and ratio on nutrient status and tuber yield of potato[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, (9): 279-283.
- [9] 何文寿, 马琨, 代晓华, 等. 宁夏马铃薯氮、磷、钾养分的吸收累积特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1477-1487.
- HE W S, MA K, DAI X H, et al. Characteristics of nitrogen, phosphorus and potassium uptake and accumulation of potato in Ningxia[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(6): 1477-1487.
- [10] 贺春雄. 延安沟沟造地工程的现状、特点及作用[J]. 地球环境学报, 2015, 6(4): 255-260.
- HE C X. The situation, characteristics and effect of the gully reclamation project in Yan'an[J]. Journal of Earth Environment, 2015, 6(4): 255-260.
- [11] 陈怡平, 骆世明, 李凤民, 等. 对延安黄土沟壑区农业可持续发展的建议[J]. 地球环境学报, 2015, 6(5): 265-269.
- CHEN Y P, LUO S M, LI F M, et al. Proposals on the sustainable development of agriculture in Yan'an gully regions[J]. Journal of Earth Environment, 2015, 6(5): 265-269.
- [12] CHEN Y P, WU J H, WANG H, et al. Evaluating the soil quality of newly created farmland in the hilly and gully region on the Loess Plateau, China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(5): 791-802.
- [13] 苏翠翠. 延安新造地土壤质量评价、适生作物筛选及改良技术[D]. 北京: 中国科学院大学, 2019.
- SU C C. Soil quality evaluation, selection of suitable crops and improvement technology of new land in Yan'an[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2019.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 42-101.
- BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 42-101.
- [15] 张绪成, 马一凡, 于显枫, 等. 立式深旋耕作对西北半干旱区马铃薯水肥利用和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(2): 191-203.
- ZHANG X C, MA Y F, YU X F, et al. Effects of vertically rotary subsoiling on nutrient and water utilization and tuber yield of potato in semi-arid area of northwest China[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2021, 27(2): 191-203.
- [16] 钱玉平, 田慧慧, 程宏波, 等. 秸秆覆盖及播种方式对马铃薯耗水特性和产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(6): 826-834.
- QIAN Y P, TIAN H H, CHENG H B, et al. Effects of straw mulching and sowing methods on water consumption characteristics and yield of potato in arid region of northwest China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(6): 826-834.
- [17] 姜春霞, 张伟, 贺亭峰, 等. 垄作对土壤水热条件及旱地马铃薯产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(19): 218-221.
- JIANG C X, ZHANG W, HE T F, et al. Effects of ridging planting on soil moisture and temperature, the yield of dryland potato[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(19): 218-221.
- [18] GONDWE R L, KINOSHITA R, SUMINOE T, et al. Available soil nutrients and NPK application impacts on yield, quality, and nutrient composition of potatoes growing during the main season in Japan[J]. American Journal of Potato Research, 2020, 97(3): 234-245.
- [19] 靳乐乐, 乔匀周, 董宝娣, 等. 起垄覆膜栽培技术的增产增效作用与发展[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(9): 1364-1374.
- JIN L L, QIAO Y Z, DONG B D, et al. Crop yield increasing and efficiency improving effects and development of technology of ridge-furrow cultivation with plastic film mulching[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(9): 1364-1374.
- [20] ŠREK P, HEJCMAN M, KUNZOVÁ E. Multivariate analysis of relationship between potato (*Solanum tuberosum* L.) yield, amount of applied elements, their concentrations in tubers and uptake in a long-term fertilizer experiment[J]. Field Crops Research, 2010, 118(2): 183-193.
- [21] 李燕青, 赵秉强, 李壮. 有机无机结合施肥制度研究进展[J]. 农学报, 2017, 7(7): 22-30.
- LI Y Q, ZHAO B Q, LI Z. Research progress of organic-inorganic fertilizer combined application system[J]. Journal of Agriculture, 2017, 7(7): 22-30.
- [22] 刘向梅, 孙磊, 李功义, 等. 氮磷钾肥施用量及施用时期对马铃薯养分转运分配的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013, (4): 59-65.
- LIU X M, SUN L, LI G Y, et al. Effects of N, P, K fertilizers application rate and time on translocation and distribution of nutrients in potato plant[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2013, (4): 59-65.
- [23] 李扬, 王靖, 唐建昭, 等. 播期和品种变化对马铃薯产量的耦合效应[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(2): 296-304.
- LI Y, WANG J, TANG J Z, et al. Coupling impacts of planting date and cultivar on potato yield[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2019, 27(2): 296-304.
- [24] 方玉川, 汪奎, 吕军, 等. 陕北地区马铃薯品种比较试验[J]. 中国马铃薯, 2020, 34(2): 65-71.
- FANG Y C, WANG K, LV J, et al. Comparative trial of potato varieties in northern Shaanxi[J]. Chinese Potato Journal, 2020, 34(2): 65-71.
- [25] 郑太波, 申强, 杜红梅, 等. 延安市马铃薯新品种引进试验初报[J]. 陕西农业科学, 2012, 58(4): 81-85.
- ZHENG T B, SHEN Q, DU H M, et al. Preliminary report on introduction experiment of new potato varieties in Yan'an city[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2012, 58(4): 81-85.
- [26] 高媛, 韦艳萍, 樊明寿. 马铃薯的养分需求[J]. 中国马铃薯, 2011, 25(3): 182-187.
- GAO Y, WEI Y P, FAN M S. Nutrient requirements for producing potato tubers[J]. Chinese Potato Journal, 2011, 25(3): 182-187.
- [27] 袁昊田, 蒙美莲, 陈有君, 等. 马铃薯不同品种氮素吸收转运规律[J]. 中国马铃薯, 2020, 34(1): 22-30.
- YUAN H T, MENG M L, CHEN Y J, et al. Nitrogen uptake and translocation in different potato varieties[J]. Chinese Potato Journal, 2020, 34(1): 22-30.