

# 半干旱雨养区不同秸秆还田方式对马铃薯 农田土壤酸解有机氮的影响

肖歆玥<sup>1,2,3</sup>, 逢蕾<sup>1,2,3</sup>, 杨锦<sup>1,2,3</sup>, 胡南南<sup>1,2,3</sup>,  
王小燕<sup>1,2,3</sup>, 杨岩斌<sup>1,2,3</sup>, 邵泽和<sup>1,2,3</sup>, 郑浩飞<sup>1,2,3</sup>,  
路建龙<sup>4</sup>, 谭雪莲<sup>5</sup>, 张博宇<sup>1,2,3</sup>, 赵鸣英<sup>1,2,3</sup>

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730000;

3. 甘肃农业大学植物生产类实验教学中心, 甘肃 兰州 730000; 4. 甘肃农业大学水利水电工程学院, 甘肃 兰州 730000;

5. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**为探究西北半干旱雨养区不同秸秆还田方式对马铃薯农田土壤酸解有机氮和产量的影响,于2022—2023年设置露地(CK)、地膜覆盖(PM)、秸秆碎秆还田(SR)和秸秆整秆带状覆盖还田(SM)4个处理,分析土壤全氮、酸解有机氮组分、C/N、有机质含量及马铃薯产量等在不同秸秆还田方式下的差异。结果表明:SR和SM处理有利于0~60 cm土层土壤全氮(TN)和酸解总氮(HN)含量的积累,且SM处理较SR处理分别显著提高4.33%和12.51%;PM对0~60 cm土层土壤TN和HN含量的积累产生负面影响,分别较CK降低7.85%和8.48%。各处理土壤酸解有机氮各组分含量均表现为氨基酸态氮(AAN)>酸解氨态氮(AN)>酸解未知态氮(HUN)>氨基糖态氮(ASN),SR和SM处理可不同程度提升土壤AAN、AN及ASN含量。与CK相比,PM和SR处理提高了2023年0~60 cm土层土壤C/N,SM处理土壤C/N降低;SR和SM处理可显著提高0~60 cm土层土壤有机质(SOM)含量,且SR处理较SM处理显著提高9.82%,PM处理0~20 cm土层土壤SOM含量则较CK显著降低5.32%。2023年SR和SM处理的马铃薯产量较CK分别显著提高23.97%和16.81%,产投比分别提高18.85%和21.31%。综上,秸秆整秆带状覆盖还田处理能更有效地提高土壤供氮能力,增强土壤肥力水平,同时提高马铃薯产量,可作为半干旱雨养区马铃薯农田推荐的秸秆还田模式。

**关键词:**马铃薯;秸秆还田;土壤全氮;土壤酸解有机氮;产量

**中图分类号:**S151.9; S153.6; S156 **文献标志码:**A

## Effects of different straw returning methods on organic nitrogen in potato farmland in semi-arid rainfed areas

XIAO Xinyue<sup>1,2,3</sup>, PANG Lei<sup>1,2,3</sup>, YANG Jin<sup>1,2,3</sup>, HU Nannan<sup>1,2,3</sup>,  
WANG Xiaoyan<sup>1,2,3</sup>, YANG Yanbin<sup>1,2,3</sup>, SHAO Zehe<sup>1,2,3</sup>, ZHENG Haofei<sup>1,2,3</sup>,  
LU Jianlong<sup>4</sup>, TAN Xuelian<sup>5</sup>, ZHANG Boyu<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Mingying<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Dry Habitat Crop Science in Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. College of Agriculture, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730000, China;

3. Experimental Teaching Center of Plant Production, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730000, China;

4. College of Water Resources and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730000, China;

5. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** To examine the effects of different straw returning methods on soil acid-hydrolyzable organic nitrogen and potato yield in rainfed potato fields in the semi-arid region of Northwest China, a field experiment was

收稿日期:2024-06-17

修回日期:2024-10-10

**基金项目:**国家自然科学基金项目(32160525);甘肃省自然科学基金项目(20JR5RA034);甘肃省农业科学院重点研发计划项目(2022GAAS24);甘肃农业大学国家级大学生创新创业训练计划项目(202410733003);甘肃农业大学大学生创新创业训练计划项目(202401057,202401058)

**作者简介:**肖歆玥(1998-),女,甘肃陇南人,硕士研究生,研究方向为土壤养分。E-mail:1071650653@qq.com

**通信作者:**逢蕾(1979-),女,山东诸城人,副教授,主要从事覆盖栽培对土壤生态影响研究。E-mail:125530457@qq.com

conducted from 2022 to 2023 with four treatments: bare land (CK), plastic film mulching (PM), crushed straw returning (SR), and whole-straw strip mulching (SM). The study analyzed soil total nitrogen (TN), acid-hydrolysable organic nitrogen fractions—including amino acid nitrogen (AAN), ammonium nitrogen (AN), hydrolysable unknown nitrogen (HUN), and amino sugar nitrogen (ASN)—as well as the C/N ratio, soil organic matter (SOM) content, and potato yield. The results showed that SR and SM treatments significantly enhanced the accumulation of TN and total hydrolysable nitrogen (HN) in the 0~60 cm soil layer. Specifically, SM increased TN and HN by 4.33% and 12.51%, respectively, compared to SR. In contrast, PM negatively affected TN and HN accumulation in the 0~60 cm layer, reducing them by 7.85% and 8.48% relative to CK. The concentrations of acid-hydrolysable organic nitrogen fractions across all treatments followed the order: AAN > AN > HUN > ASN. Both SR and SM treatments increased the contents of AAN, AN, and ASN to varying degrees. Compared to CK, PM and SR elevated the soil C/N ratio in the 0~60 cm layer in 2023, while SM reduced it. SR and SM significantly improved SOM content in the 0~60 cm layer, with SR exhibiting a 9.82% higher SOM than SM. However, PM reduced SOM content in the 0~20 cm layer by 5.32% compared to CK. In 2023, potato yields under SR and SM treatments increased significantly by 23.97% and 16.81%, respectively, compared to CK, with benefit-cost ratios rising by 18.85% and 21.31%. In conclusion, whole-straw strip mulching (SM) more effectively enhances soil nitrogen supply capacity, improves soil fertility, and increases potato yield, making it the recommended straw-returning practice for rainfed potato fields in semi-arid regions.

**Keywords:** potato; straw mulching return; soil total nitrogen; soil acidolysis organic nitrogen; yield

半干旱雨养区在全球农业发展中占据着重要地位,该地区降水少且年际分布不均,蒸发量远大于降水量,水资源是限制其农业发展的重要因素<sup>[1]</sup>,但该区土地资源和光照资源丰富,具有较大发展潜力。合理应用覆盖栽培措施对于半干旱雨养区保产、稳产、增产和促进农业可持续发展具有重要意义。研究表明,地膜覆盖可以有效降低蒸发,提高地温,促进作物生长发育<sup>[2]</sup>,但地膜残留会对土壤和环境产生负面影响<sup>[3]</sup>。作物收获后产生大量的秸秆,除去饲喂牲畜外有较多结余,而秸秆覆盖还田作为一种可持续的保护型耕作栽培措施,可以有效减少水土流失,增强土壤肥力<sup>[4]</sup>,已在小麦、马铃薯等作物的种植中广泛应用,具有良好的生态效益和经济效益<sup>[5-6]</sup>。

土壤全氮是衡量土壤氮素供应能力和评价土壤肥力的重要指标<sup>[7]</sup>,对作物的生长和产量具有显著影响。全氮包括有机氮和无机氮两种形态,其中有机氮是土壤氮素的主要存在形式,为土壤供氮潜力的主要贡献来源<sup>[8]</sup>。秸秆在分解过程中会释放氮素,增加土壤全氮含量<sup>[9]</sup>;而地膜覆盖会阻碍雨水入渗和土壤呼吸,影响土壤微生物活动,进而影响土壤全氮含量<sup>[10]</sup>。Bremner<sup>[11]</sup>将有机氮可分为酸解有机氮和非酸解氮,并提出酸解有机氮的分级方法,将土壤有机氮组分分为氨基糖态氮、酸解氨态氮、氨基酸态氮和酸解未知态氮。王克鹏等<sup>[12]</sup>研究表明,秸秆还田能够增加土壤中酸解总氮、氨基

糖态氮和氨基酸态氮的含量。

北方地区特有的长日照周期、显著的日温差以及干燥气候,为马铃薯的生长周期与养分累积创造了极为有利的条件<sup>[13]</sup>。甘肃省定西市是我国马铃薯的主要产区之一,被称为“中国马铃薯之乡”,马铃薯种植业有力地推动了当地经济的蓬勃发展。深化马铃薯产业的推进策略,不仅对巩固国家粮食安全保障体系具有深远的战略价值,而且对加速西北部地区经济增长具有重要的实践意义<sup>[14]</sup>。已有研究表明秸秆覆盖还田可以提高土壤氮素含量,但是不同秸秆还田方式对土壤氮素的研究结果并不一致<sup>[15-16]</sup>,且对于半干旱雨养区马铃薯农田的研究相对较少。因此,本试验通过研究不同秸秆还田方式对马铃薯土壤氮组分的影响,分析土壤全氮、酸解有机氮组分及有机质在不同秸秆还田方式下的差异,明确同量不同还田方式下土壤氮组分分布和供肥潜力,筛选提升土壤肥力效果更好的覆盖还田方式,以期为西北半干旱雨养区马铃薯覆盖种植提供实践指导和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2022—2023年在甘肃省定西市安定区唐家堡村甘肃省农业科学院定西试验站(35°35'N, 104°36'E,海拔1970 m)进行,该地区多年平均气温6.2℃,年辐射总量5898 MJ·m<sup>-2</sup>,年日照时数2500

h,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温 2 075.1 $^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 140 d, 属于中温带半干旱气候。该区为典型的旱地雨养农业区, 多年平均降水量 415 mm, 6—9 月降水量占年降水总量的 68%, 降水相对变率 24%, 400 mm 降水保证率为 48%。2022 年和 2023 年马铃薯全生育期内有效降水量分别为 117.6 mm 和 226.4 mm, 平均气温分别为 16.4 $^{\circ}\text{C}$  和 16.1 $^{\circ}\text{C}$ 。两年生育时期降水及每日平均气温如图 1 所示。

## 1.2 试验设计

试验采用单因素设计, 设置 4 个处理, 分别为露地 (CK)、地膜覆盖 (PM)、秸秆碎秆还田 (SR) 和秸秆整秆带状覆盖还田 (SM)。各处理具体措施: CK: 起垄不覆盖; PM: 播种前将黑色地膜 (宽 120 cm, 厚 0.01 mm) 覆盖于垄上; SR: 播种时将上年邻近地块的玉米秸秆铡成约 5 cm 的碎秆旋耕还田, 旋耕深度为 15 cm, 秸秆还田量为 9 000  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (风干基); SM: 次年整地时将上年覆盖的秸秆旋耕还田, 播种时将上年邻近地块的玉米秸秆整秆呈条带状覆盖于沟内, 且每年种植带和覆盖带交替轮换布设, 旋耕深度为 15 cm, 秸秆覆盖量为 9 000  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (风干基), 垄上种植, 种植带和覆盖带均为 50 cm (秸秆覆盖度为 50%)。每个处理重复 3 次, 共 12 个小区, 各小区随机排列, 小区面积为 35  $\text{m}^2$  (7 m $\times$ 5 m)。前茬作物为玉米, 收获后旋耕整地。

供试马铃薯品种为‘青薯 9 号’ (脱毒薯原种), 各处理均为垄上呈“品”字形播种, 行距 40 cm、株距 38 cm、垄宽 60 cm、垄沟宽 40 cm、垄高 15 cm, 马铃薯栽培布局如图 2 所示。播种时间分别为 2022 年

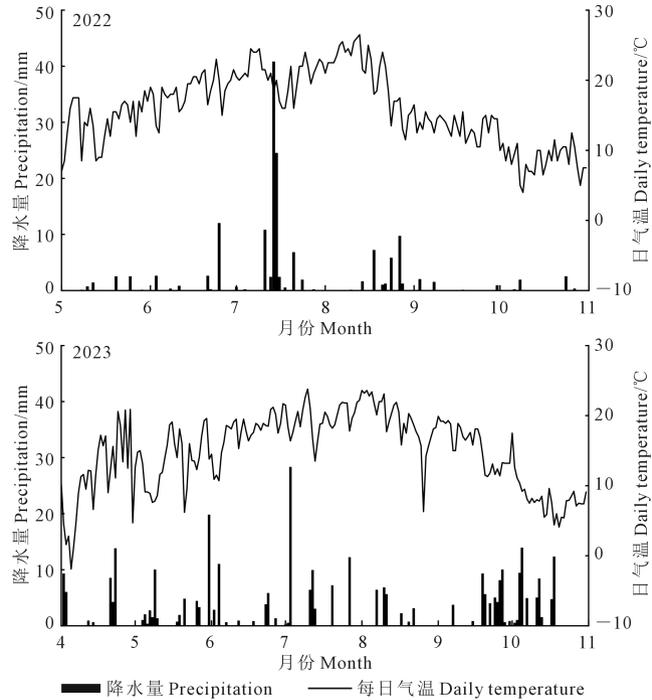


图 1 2022 年和 2023 年马铃薯生育时期气温及降水情况  
Fig.1 Temperature and precipitation during potato growing period in 2022 and 2023

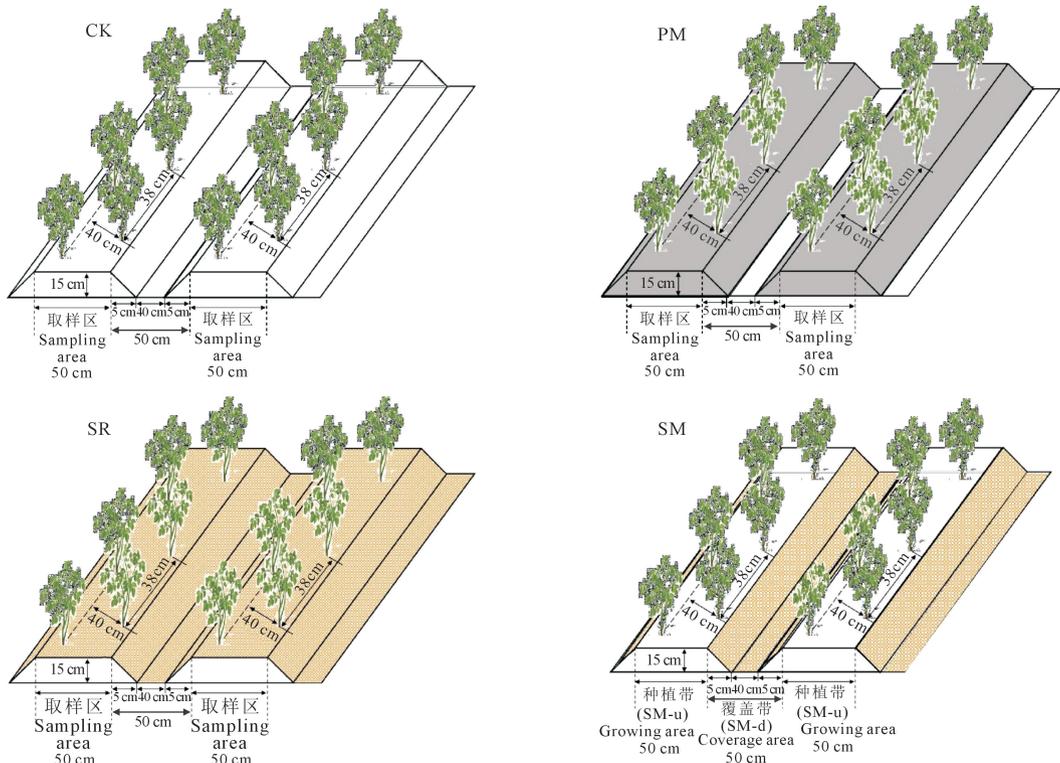


图 2 不同处理栽培模式图

Fig.2 Cultivation model diagram of different treatments

5月3日和2023年4月20日,收获时间分别为2022年10月26日和2023年10月15日,2022年施肥量为纯N 180 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg·hm<sup>-2</sup>,2023年施肥量为纯N 200 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 200 kg·hm<sup>-2</sup>,供试肥料均为尿素(N 46%)和磷酸二铵(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%,N 18%),因2022年马铃薯产量偏低,考虑是受土壤养分限制,参考前人研究结果<sup>[17]</sup>,2023年适当增加了施肥量,所有肥料均作为基肥在旋耕整地时一次性施入,生育时期内不再追肥。其他管理措施同当地生产一致,生育时期内不灌水。

### 1.3 样品采集与测定

1.3.1 土壤样品采集 于马铃薯成熟期在各小区用土钻按五点取样法钻取0~20、20~40、40~60 cm土层的土壤样品。SM处理取种植带株/行间(SM-u)和覆盖带下(SM-d)的土壤,PM取地膜下株/行间的土壤,CK和SR取株/行间的土壤。各小区的土壤样品等层混合,带回实验室风干后过2 mm筛备用,用于测定土壤全氮、有机氮组分及有机质含量。

1.3.2 土壤样品测定与计算 土壤全氮含量采用半微量开氏法测定<sup>[18]</sup>;土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定<sup>[18]</sup>;酸解有机氮组分含量采用Bremner有机氮分级方法测定,其中,酸解总氮含量采用凯氏法测定;氨基酸态氮含量采用茚三酮氧化、磷酸-硼砂缓冲液蒸馏法测定;酸解氨态氮含量采用MgO氧化蒸馏法测定;酸解氨及氨基糖态氮含量采用磷酸-硼砂缓冲液蒸馏法测定;未知态氮和氨基糖态氮含量通过差减法求得<sup>[19]</sup>。土壤有机质和土壤碳氮比按照公式(1)~(2)计算。

$$\text{土壤有机质}(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}) = \text{土壤有机碳} \times 1.724 \quad (1)$$

$$\text{土壤碳氮比} = \frac{\text{有机碳}}{\text{全氮}} \quad (2)$$

1.3.3 马铃薯产量及经济效益测算 马铃薯成熟期,选择测产带去边行测实产,测产带面积为21 m<sup>2</sup>(7 m×3 m),折算为公顷产量;取样带连续选取20株马铃薯进行室内考种,测定商品薯(单薯质量大于75 g)率、单株结薯数和单薯质量。马铃薯产值、纯收益及产投比分别按照公式(3)~(5)计算。

$$\text{产值}(\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}) = \text{产量} \times \text{商品薯率} \times 2.0 + \text{产量} \times \text{非商品薯率} \times 0.6 \quad (3)$$

式中,2.0为马铃薯商品薯价格(CNY·kg<sup>-1</sup>);0.6为马铃薯非商品薯价格(CNY·kg<sup>-1</sup>)。

$$\text{纯收益}(\text{CNY} \cdot \text{hm}^{-2}) = \text{产值} - \text{总投入} \quad (4)$$

$$\text{产投比} = \frac{\text{产量}}{\text{总投入}} \quad (5)$$

### 1.4 数据处理

利用Microsoft Excel 2016整理汇总数据,采用SPSS 27.0进行统计分析,采用单因素方差分析(ANOVA)及新复极差法(Duncan法)进行方差分析和多重比较( $P < 0.05$ ),使用Origin 2021软件绘图。

## 2 结果与分析

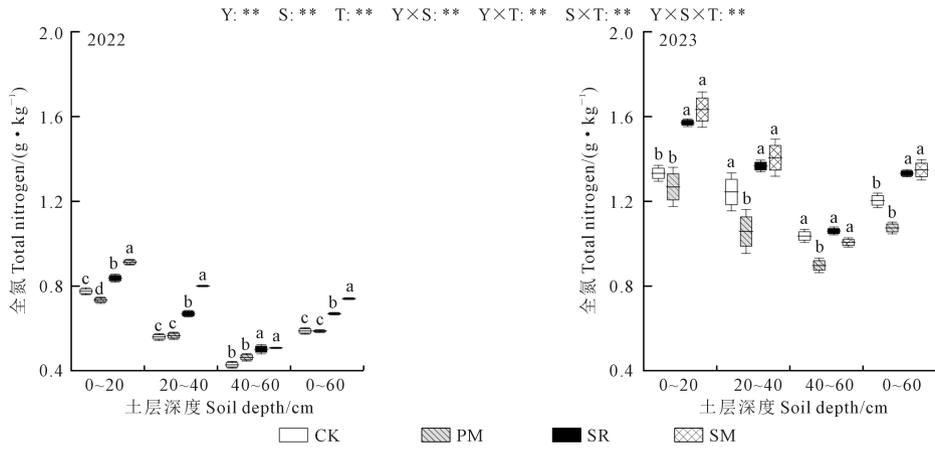
### 2.1 不同处理对土壤全氮的影响

由图3可知,随土壤深度增加,各处理的全氮(TN)含量均呈降低趋势,2022年和2023年0~60 cm土层TN含量整体表现为SM>SR>CK>PM,SR和SM处理显著高于其他处理( $P < 0.05$ ),各处理间差异主要表现在0~40 cm土层。2022年,SR和SM处理0~20 cm土层的TN含量较CK分别显著提高8.05%和17.75%,SM较SR处理显著提高8.98%,PM处理较CK显著降低5.40%( $P < 0.05$ );2023年,SR和SM处理0~20 cm土层的TN含量较CK分别显著提高17.93%和22.61%,PM处理20~40 cm土层的TN含量较CK显著降低15.00%( $P < 0.05$ )。年份、土层、处理、年份×土层、年份×处理以及土层×处理均对TN含量存在极显著影响( $P < 0.01$ ),三因素交互作用对TN含量存在显著影响( $P < 0.05$ )。

### 2.2 不同处理对土壤酸解有机氮的影响

2.2.1 不同处理对酸解总氮的影响 各处理的酸解总氮(HN)含量均随土层加深呈降低趋势(图4),秸秆覆盖提高了0~60 cm土层的酸解总氮含量,两年各处理酸解总氮含量表现为SM>SR>CK>PM。2022年,SR和SM处理20~40 cm土层的HN含量较CK分别显著提高18.09%和40.59%,SM较SR处理显著提高19.06%( $P < 0.05$ );2023年,SR和SM处理0~20 cm土层的HN含量较CK分别显著提高21.65%和26.43%,20~40 cm土层分别显著提高14.95%和15.76%( $P < 0.05$ ),PM处理20~40 cm土层HN含量较CK显著降低13.34%( $P < 0.05$ )。年份、土层、处理、年份×处理及土层×处理对HN含量具有极显著影响( $P < 0.01$ ),年份×土层对HN含量具有显著影响( $P < 0.05$ )。

2.2.2 不同处理对氨基酸态氮的影响 2022年和2023年,SM处理0~60 cm土层的氨基酸态氮(AAN含量)均显著高于CK(图5)。2022年,SM处理20~40 cm土层的AAN含量较CK提高36.48%;2023年,SR和SM处理0~20 cm土层的ANN含量较CK分别显著提高23.27%和29.33%( $P < 0.05$ ),PM处理20~40 cm土层的ANN含量较CK显著降低19.21%( $P < 0.05$ )。年份、土层、处理以及年份×处理均对AAN含量有极显著影响( $P < 0.01$ )。

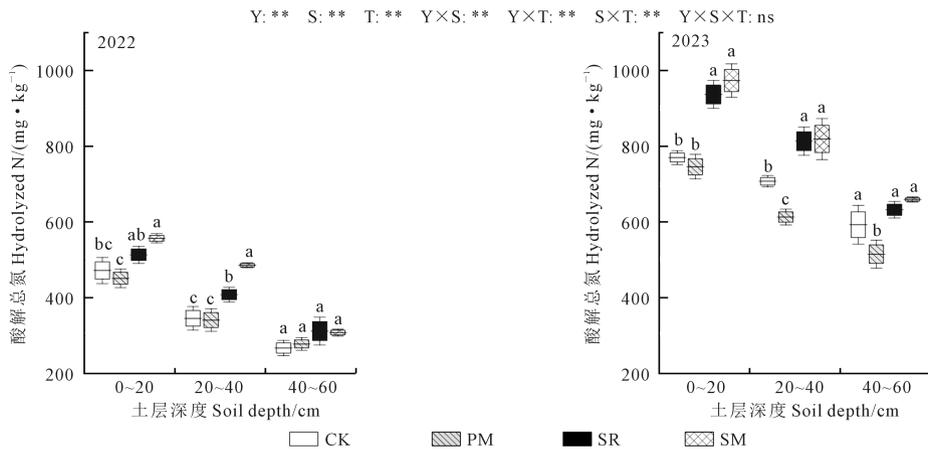


注:图中不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著( $P<0.05$ );Y表示年份,S表示土层深度,T表示处理,\*表示显著相关( $P<0.05$ ),\*\*表示极显著相关( $P<0.01$ )。箱体中间横线为平均值,箱体上下的须线为标准误差范围。下同。

Note: Different lowercase letters in the figure indicate significant differences between different treatments of the same soil layer ( $P<0.05$ ). Y: Year, S: Soil depth, T: Treatment, \* indicates a significant correlation at the 0.05 level, and \*\* indicates a significant correlation at the 0.01 level. The middle horizontal line of the box is the average, and the whisker line above and below the box is the standard error range. The same below.

图 3 不同处理对 0~60 cm 土层土壤全氮含量的影响

Fig.3 Effects of different treatments on soil total nitrogen content in 0~60 cm depths



注:ns表示差异不显著,下同。

Note: ns indicates no significant differences, the same below.

图 4 不同处理对 0~60 cm 土层土壤酸解总氮含量的影响

Fig.4 Effects of different treatments on hydrolyzed nitrogen content in 0~60 cm depths

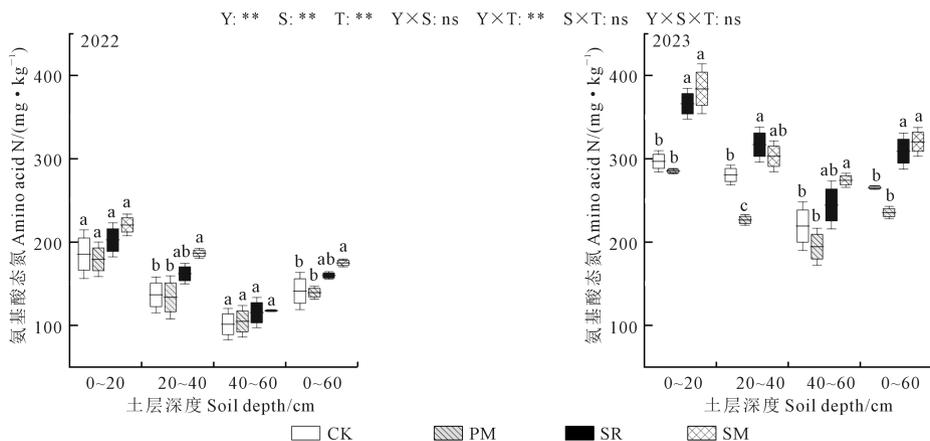


图 5 不同处理对 0~60 cm 土层土壤氨基酸态氮含量的影响

Fig.5 Effects of different treatments on amino acid nitrogen content in 0~60 cm depths

2.2.3 不同处理对酸解氨态氮的影响 2022年和2023年,SM处理较CK可显著提高土壤酸解氨态氮(AN)含量(图6),各处理AN含量均随土层加深而降低,处理间表现为SM>SR>CK>PM。2022年各处理间AN含量差异主要表现在0~40 cm土层,其中SM处理20~40 cm土层的AN含量较CK显著提高28.02%( $P<0.05$ ),SR亦较CK有所提高;2023年各处理间差异主要表现在0~20 cm土层,其中SM处理的AN含量较CK显著提高29.45%( $P<0.05$ ),SR处理较CK提高17.08%,PM处理较CK降低5.30%。年份、土层和处理对AN含量均存在极显著影响( $P<0.01$ )。

2.2.4 不同处理对氨基糖态氮的影响 2022、2023年各处理氨基糖态氮(ASN)含量均随土层加深呈降低趋势(图7),各处理间0~20 cm土层的ANS含量无显著差异。2022年各处理0~60 cm土层的ANS含量表现为SM>SR>CK>PM,处理间均无显著差异;2023年,SR和SM处理0~60 cm土层的ANS含量较CK分别显著提高29.56%和30.11%( $P<$

0.05),SR和SM处理间无显著差异。年份、土层和处理对ASN含量均为极显著影响( $P<0.01$ ),年份×处理对ASN含量影响显著( $P<0.05$ )。

2.2.5 不同处理对酸解未知态氮的影响 除2022年20~40 cm土层外,两年各处理间0~60 cm土层的酸解未知态氮(HUN)含量均无显著差异(图8)。2022年处理间差异主要表现在20~40 cm土层,其中SR和SM处理的HUN含量较CK分别显著提高47.45%和82.64%( $P<0.05$ );2023年各处理0~60 cm土层HUN含量表现为SR>SM>CK>PM。年份和土层对HUN含量呈极显著影响( $P<0.01$ )。

2.2.6 不同处理对土壤酸解有机氮组分占比的影响 两个试验年份土壤酸解有机氮各组分在酸解总氮中占比分布趋势一致(图9),不同秸秆还田方式下0~60 cm土层均为氨基酸态氮含量最高,氨基糖态氮含量最低,分布趋势均为AAN>AN>HUN>ASN,其中AAN/HN介于37.72%~39.29%之间,AN/HN介于26.37%~30.17%之间,HUN/HN介于

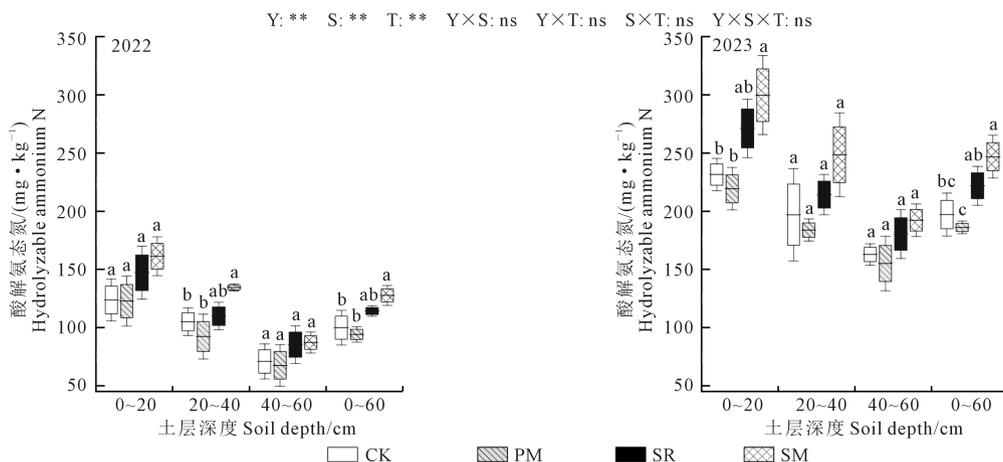


图6 不同处理对0~60 cm土层土壤酸解氨态氮含量的影响

Fig.6 Effects of different treatments on hydrolyzable ammonium nitrogen content in 0~60 cm depths

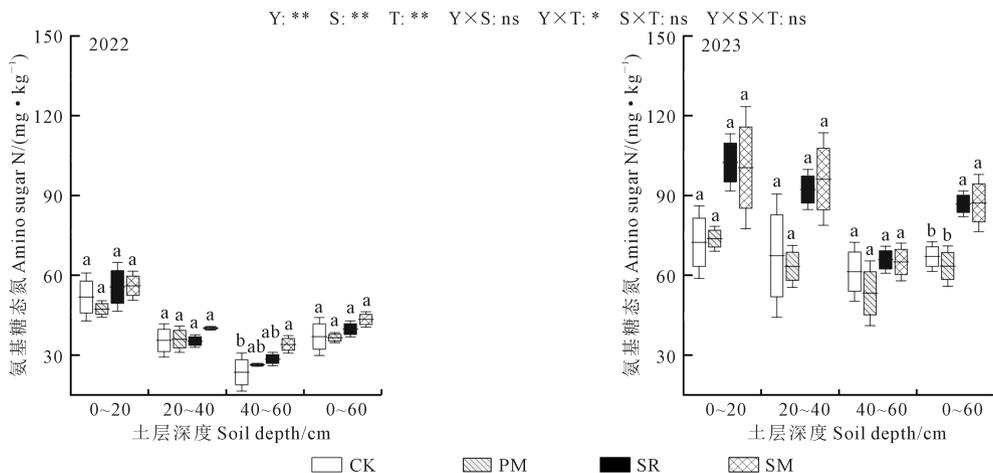


图7 不同处理对0~60 cm土层土壤氨基糖态氮含量的影响

Fig.7 Effects of different treatments on amino sugar nitrogen content in 0~60 cm depths

19.82%~24.35%之间,ASN/HN 介于 9.63%~10.95%之间。对比两年结果发现,覆盖处理对酸解有机氮各组分在酸解总氮中占比分布无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

### 2.3 不同处理对土壤有机质的影响

由图 10 可知,秸秆覆盖可以增加有机质(SOM)含量,2022 年各处理土壤 SOM 含量均随着土层的加深呈降低趋势,0~60 cm 土层,SR 和 SM 处理的土壤 SOM 含量较 CK 分别显著提高36.04%和 23.97%,SR 较 SM 处理显著提高 9.73%,PM 处理较 CK 显著降低 5.19% ( $P < 0.05$ );受施肥量影响,2023 年各处理 0~20 cm 土层的 SOM 含量均较 2022 年有所降低,PM 处理 SOM 含量随土层加深呈先升高后降低的趋势。年份、土层、处理、年份×土层、年

份×处理、土层×处理以及年份×土层×处理对 SOM 含量均存在极显著影响 ( $P < 0.01$ )。

### 2.4 不同覆盖方式对土壤 C/N 的影响

受施肥量影响,2023 年 0~60 cm 各土层深度下各处理土壤 C/N 均低于 2022 年(图 11)。2022 年,SR 处理各土层深度的 C/N 值均显著高于 CK,PM 处理 0~60 cm 土层深度的 C/N 值显著低于 CK,各处理 0~60 cm 土层 C/N 值表现为 SR>SM>CK>PM;2023 年,各处理 0~60 cm 土层 C/N 值表现为 PM>SR>CK>SM,PM 处理较 CK 显著提高 11.68%,SM 处理较 CK 显著降低 14.10% ( $P < 0.05$ )。年份、处理、年份×处理、土层×处理及年份×土层×处理均对土壤 C/N 具有极显著影响 ( $P < 0.01$ ),土层深度对土壤 C/N 具有显著影响 ( $P < 0.05$ )。

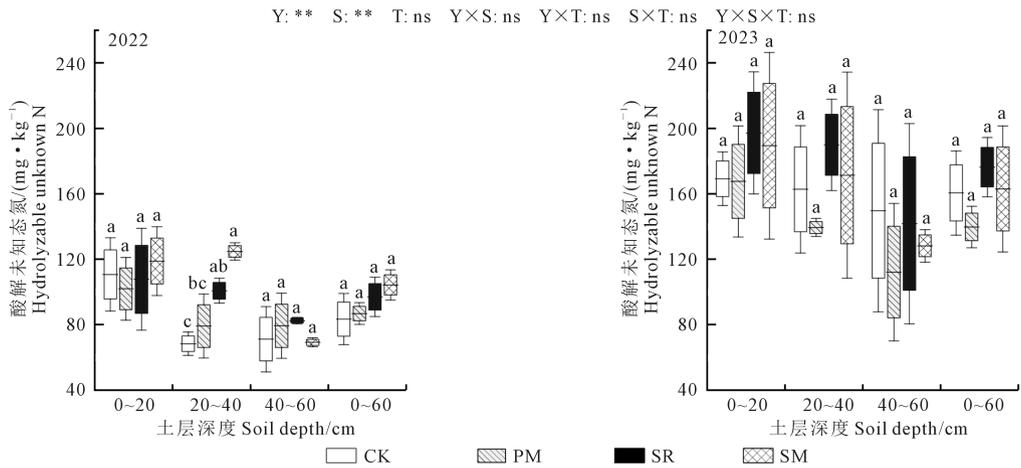
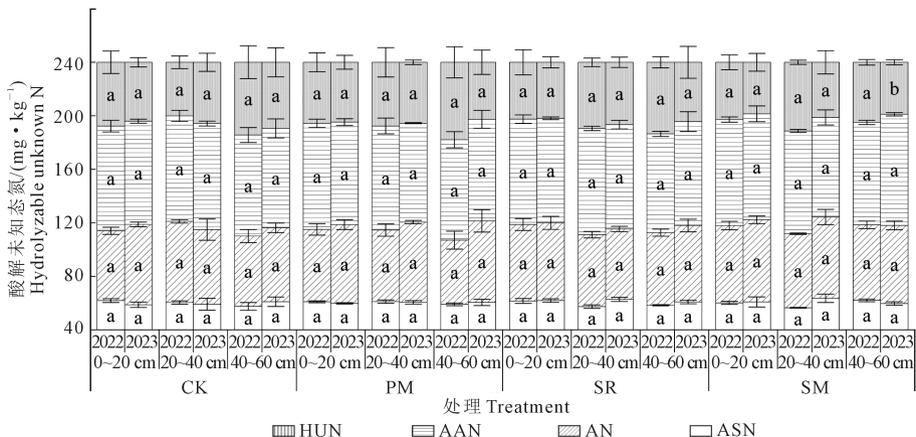


图 8 不同处理对 0~60 cm 土层土壤酸解未知态氮含量的影响

Fig.8 Effects of different treatments on the hydrolyzable unknown nitrogen content in 0~60 cm depths



注:图中不同小写字母表示同一处理不同年份间差异显著 ( $P < 0.05$ )。AAN:氨基酸态氮;AN:酸解氨态氮;ASN:氨基糖态氮;HUN:酸解未知态氮。

Note:Different lowercase letters in the figure indicate significant differences between different years under the same treatment ( $P < 0.05$ ). AAN: amino acid nitrogen, AN:hydrolyzable ammonium nitrogen, ASN: amino sugar nitrogen, HUN: hydrolyzable unknown nitrogen.

图 9 不同处理下 0~60 cm 土层酸解有机氮组分占比

Fig.9 Proportion of hydrolyzed organic nitrogen components in 0~60 cm depths of different treatments

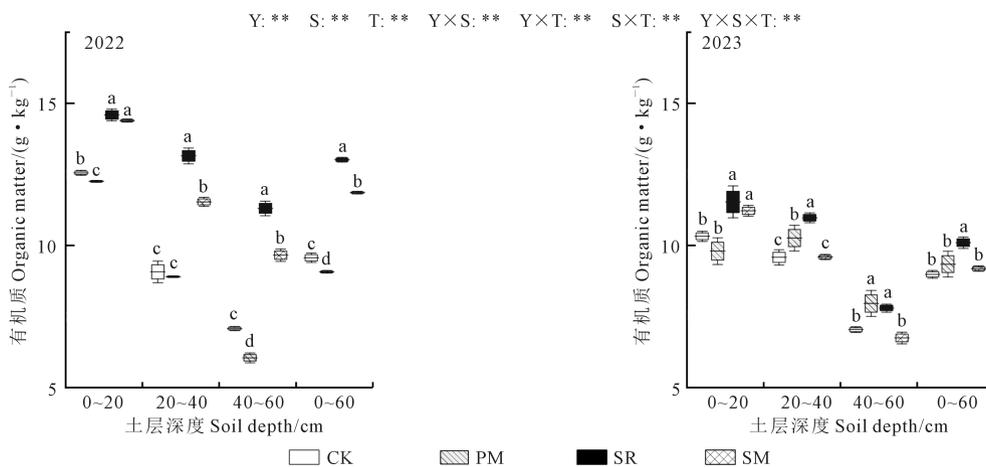


图 10 不同处理对 0~60 cm 土层土壤有机质含量的影响

Fig.10 Effects of different treatments on soil organic matter content in 0~60 cm depths

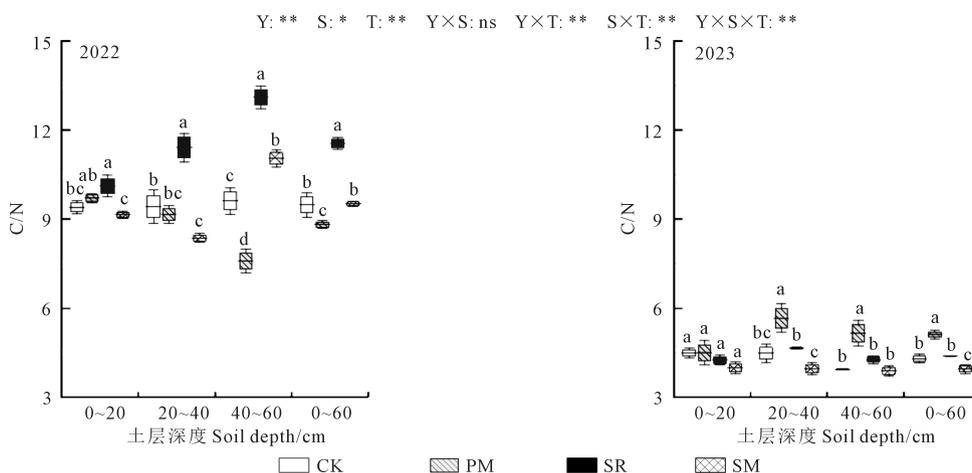


图 11 不同处理对 0~60 cm 土层土壤 C/N 的影响

Fig.11 Effects of different treatments on C/N ratio in 0~60 cm depths

### 2.5 不同处理对马铃薯产量及产量构成要素的影响

由表 1 可知,地膜覆盖和秸秆覆盖还田均可提高马铃薯产量和单薯质量,与 CK 相比,2022 年 PM 处理马铃薯产量显著提高 128.40% ( $P < 0.05$ ),单薯质量显著提高 93.71% ( $P < 0.05$ ),商品薯率显著提高 163.04% ( $P < 0.05$ );2023 年 PM、SR 和 SM 处理马铃薯产量分别显著提高 53.46%、24.02% 和 18.16% ( $P < 0.05$ ),PM 处理单薯质量显著提高 42.63% ( $P < 0.05$ ),商品薯率显著提高 78.19% ( $P < 0.05$ )。

### 2.6 马铃薯产量与土壤氮组分、C/N 及有机质之间的相关性分析

通过通径分析(表 2),将产量和各因子之间的相关系数分解为间接通径系数和直接通径系数,直接通径系数表现为: $x_6 (2.543) > x_7 (1.738) > x_1 (1.595) > x_2 (0.963) > x_4 (0.652) > x_5 (0.149) > x_3$

(0.001),土壤碳氮比( $x_6$ )对马铃薯产量( $y$ )的影响最大,酸解氨态氮( $x_3$ )的影响最小,其中酸解氨态氮( $x_3$ )对马铃薯产量( $y$ )的直接通径系数较小,间接通径系数较大,其主要通过影响土壤碳氮比间接影响马铃薯产量。土壤有机质( $x_7$ )与马铃薯产量( $y$ )呈显著正相关关系。

### 2.7 不同处理对马铃薯经济效益的影响

由表 3 可知,各处理间除覆盖材料和相关人工外其他投入均一致,不同秸秆还田方式均可提高马铃薯纯收益和产投比,与 CK 相比,2022 年 PM、SR 和 SM 处理的产投比分别提高 207.59%、32.91% 和 88.61%,2023 年 PM、SR 和 SM 处理分别提高 72.95%、18.85% 和 21.31%。两年纯收益均表现为 PM > SM > SR > CK,除 PM 外,SR 和 SM 处理的商品薯产量和产值均较第一年提高,且 2023 年 PM、SR 和 SM 处理的商品薯和产值均显著高于 CK。

表 1 不同处理对马铃薯产量及产量构成要素的影响

Table 1 Effects of different treatments on potato yield and yield components

处理 Treatment	2022				2023			
	单株结薯数 Number of potatoes per plant	单薯质量 Single potato mass/g	商品薯率 Commodity potato rate/%	产量 Yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )	单株结薯数 Number of potatoes per plant	单薯质量 Single potato mass/g	商品薯率 Commodity potato rate/%	产量 Yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )
CK	4.33±0.33a	38.33±7.92b	24.92±5.05b	8995.00±2601.33b	4.00±0.52a	67.68±9.08b	33.28±11.07b	12598.25±346.62c
PM	5.33±0.47a	74.25±5.07a	65.55±8.57a	20545.00±389.74a	4.03±0.20a	96.53±3.69a	59.30±5.35a	19341.00±230.58a
SR	4.47±0.24a	52.04±3.41ab	40.44±5.10ab	12180.00±917.37b	3.97±0.15a	75.94±4.65b	51.11±2.64ab	15624.00±920.37b
SM	4.47±0.41a	63.89±12.49ab	43.94±12.70ab	15260.00±3553.66ab	3.67±0.17a	76.76±2.03b	53.22±5.36ab	14885.5±663.46b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different treatments ( $P<0.05$ ).

表 2 马铃薯产量与土壤氮组分、C/N 及有机质之间的通径分析

Table 2 Path analysis between potato yield and soil nitrogen composition, C/N and organic matter

因子 Factor	$r_{yi}$	$P_{yi}$	间接通径系数 Indirect path coefficient							合计 Total
			→ $x_1$	→ $x_2$	→ $x_3$	→ $x_4$	→ $x_5$	→ $x_6$	→ $x_7$	
$x_1$	-0.013	1.595		0.925	-0.001	-0.564	-0.107	2.413	-1.086	1.580
$x_2$	0.065	0.963	-0.012		-0.001	-0.600	-0.095	2.289	-0.956	0.624
$x_3$	0.062	0.001	-0.012	0.900		-0.512	-1.696	2.276	-1.003	-0.047
$x_4$	-0.009	0.652	-0.011	0.886	-0.512		-0.070	1.984	-0.775	1.501
$x_5$	-0.062	0.149	-0.009	0.616	-0.001	-0.306		1.831	-0.902	1.229
$x_6$	0.145	2.543	0.012	-0.867	0.001	0.509	0.107		1.423	1.186
$x_7$	0.489*	1.738	0.008	-0.530	0.001	0.291	0.077	1.423		1.271

注: $r_{yi}$ 为相关系数, $P_{yi}$ 为直接通径系数, $x_1$ 为全氮, $x_2$ 为氨基酸态氮, $x_3$ 为酸解氨态氮, $x_4$ 为氨基糖态氮, $x_5$ 为酸解未知态氮, $x_6$ 为碳氮比, $x_7$ 为有机质, $y$ 为产量;\*表示相关性显著( $P<0.05$ )。

Note:  $r_{yi}$  is correlation coefficient,  $P_{yi}$  is direct impact path coefficient,  $x_1$  is total nitrogen,  $x_2$  is amino acid nitrogen,  $x_3$  is hydrolyzable ammonium nitrogen,  $x_4$  is amino sugar nitrogen,  $x_5$  is hydrolyzable unknown nitrogen,  $x_6$  is C/N,  $x_7$  is organic matter,  $y$  is yield. \* indicates significant correlation ( $P<0.05$ ).

表 3 不同处理下马铃薯的经济效益分析

Table 3 Analysis of the economic benefits of potato under different treatments

年份 Year	处理 Treatment	总投入 Total input /(CNY·hm <sup>-2</sup> )	产值 Output value /(CNY·hm <sup>-2</sup> )	纯收益 Net income /(CNY·hm <sup>-2</sup> )	产投比 Output-input ratio
2022	CK	10422.90	8216.18±1798.24b	-2206.72±1798.24b	0.79±0.17b
	PM	12822.90	31160.62±2367.05a	18337.72±2367.05a	2.43±0.18a
	SR	13632.90	14333.34±1969.10b	700.44±1969.10b	1.05±0.15b
	SM	13092.90	19572.23±6490.89ab	6479.33±6490.89ab	1.49±0.50ab
2023	CK	10881.55	13234.85±1618.34c	2353.30±1618.34b	1.22±0.15b
	PM	13281.55	28085.01±1724.14a	14803.46±1724.14a	2.11±0.11a
	SR	14091.55	20486.58±609.25b	6395.02±609.25b	1.45±0.04b
	SM	13551.55	19994.09±1785.52b	6442.54±1785.52b	1.48±0.13b

注:总投入包括覆盖材料、肥料、种薯、农药以及人工仪器等其他费用。

Note: Total input includes covering materials, fertilizer, seed potato, pesticides and artificial instruments.

## 3 讨论

### 3.1 不同处理下土壤全氮、C/N 及有机质的变化

本研究表明,SR 和 SM 处理可显著提高土壤全氮含量(图 3),这与前人研究结果一致<sup>[9-10]</sup>,可能是因为秸秆覆盖还田可以改善土壤的理化性质<sup>[20]</sup>,促进秸秆腐解,而秸秆腐解与秸秆氮素释放呈正相关

关系<sup>[21]</sup>。在本试验中,0~60 cm 土层两年全氮含量变化均表现为 SM>SR>CK>PM,表明秸秆整秆带状覆盖还田较秸秆碎秆还田能更有效提高土壤中全氮含量,在土壤表层形成物理屏障,减少雨水冲刷和径流导致的氮素流失<sup>[22]</sup>。

土壤 C/N 可反映土壤肥力的水平,C/N 较低说明土壤肥力较高,C/N 较高则相反<sup>[23]</sup>。本研究中,

与CK相比,2022年秸秆覆盖还田可以增加土壤有机质含量,地膜覆盖会减少土壤有机质含量(图10),这与卜玉山等<sup>[2]</sup>的研究结果一致,这是由于秸秆覆盖可将大量有机物质引入土壤,从而增加土壤有机质含量,而地膜覆盖并无额外碳源输入<sup>[24]</sup>,2023年PM处理的有机质含量随土层的加深呈先增长后降低趋势,这可能是由于第二年土壤表层存在较多的根系活性和植物残体,微生物活性增加,促进土壤表层有机质的积累。由于2023年施氮量增加,导致各处理0~20 cm土层有机质含量较2022年有所降低,原因是有机质的积累与氮肥投入量呈显著负相关关系<sup>[25]</sup>,而酸解有机氮是一种易被微生物降解的氮形态<sup>[19]</sup>,施氮量的增加在显著提高酸解总氮含量的同时也增强了土壤中微生物活性<sup>[26]</sup>,同时C/N降低有利于加速微生物分解有机物的速率,进而加速了有机质的降解速率。

### 3.2 不同处理下酸解有机氮组分的变化

土壤酸解有机氮是土壤氮库中较为活跃的部分<sup>[19]</sup>,在氮素矿化以及为植物生长供氮的过程中起到至关重要的作用<sup>[9]</sup>,研究土壤酸解氮组分可以更好地理解土壤氮素变化过程。本研究发现,与CK相比,SR和SM处理可促进土壤酸解总氮含量的增加,其变化与土壤全氮含量变化呈正比,这与焦亚鹏等<sup>[27]</sup>的研究结果一致。秸秆整秆带状覆盖还田比秸秆碎秆还田效果更为显著,这可能是因为前者较后者形成了较为封闭的覆盖层,更好保持土壤湿度和增强微生物活性的同时,也使土壤中的有机质不易被雨水冲刷<sup>[28]</sup>,有助于保持土壤中营养物质含量,减少养分流失。本研究中,土壤酸解有机氮各组分含量表现为氨基酸态氮>酸解氨态氮>酸解未知态氮>氨基糖态氮(图9),植物可吸收的氮素来源也依次为氨基酸态氮、酸解氨态氮、酸解未知态氮、氨基糖态氮<sup>[29]</sup>,这说明秸秆覆盖还田处理主要是通过氨基酸态氮含量影响酸解总氮,进而提高土壤供氮能力,影响植物生长发育。

土壤氨基酸态氮和酸解氨态氮是土壤易矿化有机氮的源和库,也是植物吸收利用矿化氮主要来源<sup>[19]</sup>。本研究表明,秸秆整秆带状覆盖还田(SM)可显著提高0~60 cm土层土壤氨基酸态氮和酸解氨态氮的含量,进而提升土壤供氮能力,这与潘占东等<sup>[30]</sup>的研究结果一致,这说明秸秆覆盖还田在提高全氮含量的基础上进一步促进了土壤中微生物分解有机物的速率,增加了土壤中易矿化有机氮的含量<sup>[31]</sup>。氨基糖态氮主要源于微生物细胞壁<sup>[32]</sup>,在微生物死亡后可以稳定存在很长时间,该指标通

常能反映微生物残体对土壤有机质的贡献程度<sup>[33]</sup>。本研究表明,秸秆整秆带状覆盖还田和秸秆碎秆还田处理有效提高了氨基糖态氮的含量,SR和SM处理0~60 cm土层的氨基糖态氮较CK显著提高29.56%~30.11%,这可能是由于秸秆覆盖还田会改善微生物生存环境,进而提升微生物活性和数量。本研究还发现,氨基糖态氮在酸解有机氮组分中的占比较低,占比范围为9.63%~10.95%,这与前人研究结果一致<sup>[34]</sup>。酸解未知态氮较稳定,容易在土壤中累积<sup>[24]</sup>。本研究表明,秸秆覆盖还田两个试验年份对0~60 cm土层土壤酸解未知态氮含量基本无显著影响,这与董姝含等<sup>[34]</sup>的研究结果一致。

### 3.3 不同处理下马铃薯产量的变化

本研究表明,地膜覆盖和秸秆覆盖还田均可提高马铃薯产量,PM、SR和SM处理两年平均产量较CK分别增加84.72%、28.76%和39.61%。此外,SM处理2022年和2023年马铃薯产量差异不大,PM处理年际间产量波动则高于SM处理(表1),说明秸秆整秆带状覆盖还田处理稳产性更好,这与前人的研究结果一致<sup>[35-36]</sup>。通过通径分析发现,土壤碳氮比对马铃薯产量影响最大,其次是土壤有机质和全氮,除有机质外,其他各指标对马铃薯产量均无显著影响(表2)。本研究还发现,SR和SM处理可提高马铃薯纯收益和产投比,且SM较SR处理有所提高。PM的纯收益和产投比虽均高于其他处理,但其两指标值2023年较2022年分别降低19.27%和13.17%(表3),可能是地膜覆盖会降低土壤氮组分含量,且残膜会破坏土壤团粒结构<sup>[37]</sup>,抑制作物的水分利用效率,从而影响农业可持续发展。相关研究表明,长期地膜覆盖会导致作物产量降低<sup>[38]</sup>。马铃薯产量对不同覆盖还田措施及各养分指标的长期响应情况需进一步探究与分析。

## 4 结论

(1) 秸秆还田(秸秆整秆带状覆盖还田和秸秆碎秆还田)可显著提高土壤全氮和有机质含量,其中秸秆整秆带状覆盖还田处理对土壤全氮含量的提升效果最显著,两年0~60 cm土层全氮含量较对照分别显著提高25.51%和11.97%;地膜覆盖导致0~20 cm土层土壤全氮和有机质含量降低,分别较对照降低4.84%~5.40%和2.31%~5.05%;与对照相比,秸秆碎秆还田和地膜覆盖处理2023年0~60 cm土层土壤碳氮比有所提高,而秸秆整秆带状覆盖还田0~60 cm土层土壤碳氮比显著降低。

(2) 秸秆还田(尤其是秸秆整秆带状覆盖还田)

能显著提高土壤酸解有机氮组分含量,两年 0~60 cm 土层土壤酸解总氮含量分别较对照显著提高 24.56% 和 18.43%。其中酸解氨态氮和氨基糖态氮两组分含量的增幅最大,表明秸秆还田能有效提升土壤供氮能力。此外,秸秆还田可提高氨基酸态氮和氨基糖态氮在土壤酸解总氮中的比例。

(3)地膜覆盖、秸秆碎秆还田和秸秆整秆带状覆盖还田均可提高马铃薯产量、商品薯、纯收益和产投比,其中秸秆还田(尤其是秸秆整秆带状覆盖还田)在降低环境污染的基础上具有较高的经济性,其产量、商品薯率、纯收益和产投比两年分别较对照提高 18.16%~69.65%、53.58%~76.32%、131.74~393.62% 和 21.31%~88.61%。

综上所述,秸秆整秆带状覆盖还田能显著提升土壤有机质、全氮和酸解有机氮含量,增强土壤肥力,提高马铃薯产量,可作为半干旱雨养区马铃薯农田推荐的秸秆还田模式。

#### 参考文献:

- [1] 山仑. 我国旱地农业发展中的几个问题[J]. 干旱地区农业研究, 2023, 41(3): 2-4.  
SHAN L. Issues in dryland agricultural research in China[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2023, 41(3): 2-4.
- [2] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 1069-1075.  
BU Y S, MIAO G Y, ZHOU N J, et al. Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(5): 1069-1075.
- [3] 严昌荣, 刘恩科, 舒帆, 等. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(2): 95-102.  
YAN C R, LIU E K, SHU F, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014, 31(2): 95-102.
- [4] 王平, 陈娟, 谢成俊, 等. 干旱地区覆盖方式对土壤养分及马铃薯产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021, (4): 118-125.  
WANG P, CHEN J, XIE C J, et al. Effects of different covering modes on soil nutrient and potato (*Solanum tuberosum* L.) yield in arid areas [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2021, (4): 118-125.
- [5] 周斯豪, 王美琦, 宋瑶, 等. 长期秸秆还田对下茬还田秸秆的降解及土壤微生物群落的影响[J]. 环境科学, 2025, 46(1): 532-542.  
ZHOU S H, WANG M Q, SONG Y, et al. Legacy effects of long-term straw returning on straw degradation and microbial communities of the aftercrop [J]. Environmental Science, 2025, 46(1): 532-542.
- [6] ANNING D K, QIU H, ZHANG C, et al. Maize straw return and nitrogen rate effects on potato (*Solanum tuberosum* L.) performance and soil physicochemical characteristics in northwest China [J]. Plant and soil, 2021, 13(10): 5508.
- [7] 王钰皓, 庞津雯, 杨佳霖, 等. 不同覆盖方式对旱作农田土壤碳氮含量及玉米产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(1): 20-29, 41.

- WANG Y H, PANG J W, YANG J L, et al. The effects of different coverage methods on soil carbon and nitrogen content and maize yield in dryland farmland [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2022, 40(1): 20-29, 41.
- [8] 吴汉卿, 张玉龙, 张玉玲, 等. 土壤有机氮组分研究进展[J]. 土壤通报, 2018, 49(5): 1240-1246.  
WU H Q, ZHANG Y L, ZHANG Y L, et al. Soil organic nitrogen fractions: a review [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2018, 49(5): 1240-1246.
- [9] LIU X, ZHOU F, HU G Q, et al. Dynamic contribution of microbial residues to soil organic matter accumulation influenced by maize straw mulching [J]. Geoderma, 2019, 333: 35-42.
- [10] 毛海兰, 付鑫, 赵丹丹, 等. 秸秆与地膜覆盖条件下旱作玉米田土壤氮组分生长季动态 [J]. 水土保持学报, 2018, 32(4): 246-254.  
MAO H L, FU X, ZHAO D D, et al. Seasonal dynamics of soil nitrogen fractions in dryland spring maize field under straw and plastic film mulching [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2018, 32(4): 246-254.
- [11] BREMNER J M. Organic forms of nitrogen [M]//NORMAN A G. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, Madison, WI: American Society of Agronomy, Inc, 1965: 1238-1255.
- [12] 王克鹏, 张仁陟, 董博, 等. 长期免耕和秸秆覆盖下黄土高原旱作土壤不同粒级复合体中酸解有机氮含量及分配比例变化 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 659-666.  
WANG K P, ZHANG R Z, DONG B, et al. Acid hydrolysis organic N content and the distribution in different sizes of soil complexes in Loess Plateau dryland under long-term no-tillage and straw mulching [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2016, 22(3): 659-666.
- [13] 唐春波, 胡宏祥, 邸云飞, 等. 秸秆还田不同处理方式对水稻田土壤养分的影响 [J]. 安徽农学通报, 2014, (11): 62-64.  
TANG C B, HU H X, DI Y F, et al. The effect of different straw returning treatment methods on soil nutrients in paddy fields [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2014, (11): 62-64.
- [14] 张奇, 陈粲, 陈效民, 等. 不同深度秸秆还田对黄棕壤氮素和微生物生物量碳氮的影响 [J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 56-61.  
ZHANG Q, CHEN C, CHEN X M, et al. Effects of straw returning to different soil depths on soil nitrogen and microbial biomass carbon and nitrogen in yellow brown soil [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(2): 56-61.
- [15] 宋振华. 西北地区马铃薯生产规模效率及影响因素 [J]. 中国农业文摘-农业工程, 2023, 35(2): 77-80.  
SONG Z H. Scale efficiency and influencing factors of potato production in Northwest China [J]. Agricultural Science and Engineering int China, 2023, 35(2): 77-80.
- [16] 马旺林. 甘肃省马铃薯产业竞争力及其影响因素研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.  
MA W L. Research on the competitiveness and influencing factors of potato industry in Gansu province [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [17] 陈富, 张小静, 魏玉琴, 等. 定西市全膜双垄沟播马铃薯连作养分补给研究 [J]. 中国马铃薯, 2016, (1): 20-24.  
CHEN F, ZHANG X J, WEI Y Q, et al. Nutrient supply to potato under plastic-covered ridge and furrow planting in continuous cropping system in Dingxi city [J]. Chinese Potato Journal, 2016, (1): 20-24.

- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.  
BAO S D. Soil agricultural chemistry analysis [M]. 3rd. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [19] 贾倩, 廖世鹏, 卜容燕, 等. 不同轮作模式下氮肥用量对土壤有机氮组分的影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1547-1558.  
JIA Q, LIAO S P, BU R Y, et al. Effects of nitrogen application rate on fractionation of soil organic nitrogen relative to crop rotation mode [J]. Acta Pedologica Sinica, 2017, 54(6): 1547-1558.
- [20] WANG S P, ZHAI L M, GUO S F, et al. Returned straw reduces nitrogen runoff loss by influencing nitrification process through modulating soil C : N of different paddy systems [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2023, 354: 108438.
- [21] 张经廷, 张丽华, 吕丽华, 等. 还田作物秸秆腐解及其养分释放特征概述[J]. 核农学报, 2018, 32(11): 2274-2280.  
ZHANG J T, ZHANG L H, LV L H, et al. Overview of the characteristics of crop straw decomposition and nutrients release of returned field crops [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(11): 2274-2280.
- [22] 蔡影. 秸秆还田对农田径流氮和COD流失及土壤团聚体中碳、氮的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2023.  
CAI Y. The impact of straw returning on nitrogen and COD loss from agricultural runoff, as well as carbon and nitrogen in soil aggregates [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2023.
- [23] 谢国雄, 楼旭平, 阮弋飞, 等. 浙江省农田土壤碳氮比特征及影响因素分析[J]. 江西农业学报, 2020, 32(2): 51-55.  
XIE G X, LOU X P, RUAN Y F, et al. Characteristic and influencing factors of C/N ratio of farmland soil in Zhejiang province [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2020, 32(2): 51-55.
- [24] 段德玉, 刘小京, 李伟强, 等. 夏玉米地膜覆盖栽培的生态效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 6-9.  
DUAN D Y, LIU X J, LI W Q, et al. The ecological effects of plastic-mulched culture on the summer maize [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(4): 6-9.
- [25] 王文静, 魏静, 马文奇, 等. 氮肥用量和秸秆根茬碳投入对黄淮海平原典型农田土壤有机质积累的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(13): 3591-3598.  
WANG W J, WEI J, MA W Q, et al. Effect of nitrogen amendment and straw-stubble input on accumulation of soil organic matter in typical farmlands of Huang-Huai-Hai plain [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(13): 3591-3598.
- [26] SHAHID M, NAYAK A K, PUREE C, et al. Carbon and nitrogen fractions and stocks under 41 years of chemical and organic fertilization in a sub-humid tropical rice soil [J]. Soil and Tillage Research, 2017, 170: 136-146.
- [27] 焦亚鹏, 齐鹏, 王晓娇, 等. 施氮量对农田土壤有机氮组分及酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(12): 2423-2434.  
JIAO Y P, QI P, WANG X J, et al. Effects of different nitrogen application rates on soil organic nitrogen components and enzyme activities in farmland [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(12): 2423-2434.
- [28] 吕凯, 吴伯志. 秸秆覆盖对坡地红壤养分流失及烤烟质量的影响[J]. 土壤, 2020, 52(2): 320-326.  
LV K, WU B Z. Effects of straw mulching on nutrient loss from red soil and quality of flue-cured tobacco in sloping land [J]. Soils, 2020, 52(2): 320-326.
- [29] 李菊梅, 李生秀. 可矿化氮与各有机氮组分的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 158-164.  
LI J M, LI S X. The relationship between mineralizable nitrogen and various organic nitrogen components [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(2): 158-164.
- [30] 潘占东, 蔡雪梅, 蔡立群, 等. 田间老化生物质炭对黄土高原旱作农田土壤有机氮组分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(12): 2219-2231.  
PAN Z D, CAI X M, CAI L Q, et al. Effects of field-aged biochar on soil organic nitrogen fractions in dry farmland of Loess Plateau [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2023, 29(12): 2219-2231.
- [31] 王美琦, 刘银双, 黄亚丽, 等. 秸秆还田对土壤微生态环境影响的研究进展[J]. 微生物学通报, 2022, 49(2): 807-816.  
WANG M Q, LIU Y S, HUANG Y L, et al. Research progress on effects of straw incorporation on soil micro-ecological environment [J]. Microbiology, 2022, 49(2): 807-816.
- [32] ZHANG X D, AMELUNG W. Gas chromatographic determination of muramic acid, glucosamine, mannosamine, and galactosamine in soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1996, 28(9): 1201-1206.
- [33] 李庭宇, 李双异, 刘旭, 等. 土壤微生物标识物—氨基糖的研究进展[J]. 土壤通报, 2022, 53(1): 241-252.  
LI T Y, LI S Y, LIU X, et al. Soil biomarkers—research progress of amino sugars [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, 53(1): 241-252.
- [34] 董姝含, 吕慧捷, 周锋, 等. 玉米土壤有机氮组分的生长季动态变化及其对当季和长期秸秆还田的响应[J]. 生态学杂志, 2022, 41(1): 73-80.  
DONG S H, LV H J, ZHOU F, et al. Variation of soil organic nitrogen fractions in maize field during growing season and its response to current year and long-term straw returning [J]. Chinese Journal of Ecology, 2022, 41(1): 73-80.
- [35] 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.
- [36] 赵爱琴, 魏秀菊, 朱明. 基于 Meta-analysis 的中国马铃薯地膜覆盖产量效应分析[J]. 农业工程学报, 2015, (24): 1-7.  
ZHAO A Q, WEI X J, ZHU M. Meta-analysis on impact of plastic film on potato yield in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, (24): 1-7.
- [37] 张平良, 郭天文, 刘晓伟, 等. 长期施肥与覆膜对半干旱区马铃薯农田土壤团聚体分布及其有机碳含量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023, (7): 104-111.  
ZHANG P L, GUO T W, LIU X W, et al. Effects of long-term fertilization and plastic-mulching on the distribution and organic carbon content of soil aggregates in potato field of semiarid area [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2023, (7): 104-111.
- [38] 张平良, 刘晓伟, 郭天文, 等. 长期施肥与覆膜对半干旱区马铃薯产量及其水分利用效率和有机碳的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023, (6): 115-121.  
ZHANG P L, LIU X W, GUO T W, et al. Effects of long-term fertilization and plastic-mulching on yield and water use efficiency of potato and soil organic carbon in semiarid area [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2023, (6): 115-121.