

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2022)04-0296-11

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2022.04.002

栽培生理

# 水稻秸秆覆盖与氮素施用水平对冬播马铃薯块茎产量的影响

严奉君<sup>1</sup>, 李登才<sup>2</sup>, 董智瑞<sup>1</sup>, 余丽萍<sup>1</sup>, 冯豪杰<sup>1</sup>, 王 强<sup>1</sup>, 张 帆<sup>3</sup>, 王西瑶<sup>1\*</sup>

(1. 四川农业大学农学院, 四川 成都 611130; 2. 布拖县农业农村局, 四川 布拖 616350;

3. 成都市农林科学院, 四川 成都 611130)

**摘要:** 为探究水稻秸秆覆盖和氮肥对低海拔平原地区冬播马铃薯产量的影响, 研究以四川省特色地方资源‘布拖乌洋芋’为试验材料, 设置秸秆覆盖与氮素施用水平两因素裂区试验, 主区为水稻秸秆覆盖与无秸秆覆盖处理, 副区为0, 100和150 kg/hm<sup>2</sup>氮施用水平, 分析各处理下马铃薯匍匐茎发生、现蕾期干物质积累及产量, 探讨现蕾期叶片SPAD值与马铃薯块茎产量形成的相互关系。秸秆覆盖较无秸秆处理减少马铃薯主茎数发生, 但显著提高了植株现蕾期茎粗与干物质积累; 同时秸秆覆盖处理增加马铃薯匍匐茎的发生节位, 进而提高块茎产量形成, 较无秸秆覆盖处理块茎产量提高6.43%。增加氮肥施用能够显著促进马铃薯主茎数、茎粗与现蕾期地上部干重, 由于过高的氮肥施用显著提高马铃薯现蕾期倒3叶SPAD值, 导致植株营养源库失调, 造成产量降低, 但秸秆覆盖搭配100和150 kg/hm<sup>2</sup>纯氮施用与不施氮处理产量无显著差异, 表明秸秆覆盖能够实现对马铃薯生长的养分供应及对外源施用氮素吸收利用, 进而保障块茎产量形成。此外, 对现蕾后0~20 d马铃薯植株叶片SPAD相对差值与块茎产量回归方程拟合表明, 马铃薯块茎产量与现蕾后0和20 d植株倒1叶与倒2叶SPAD相对差值、现蕾后0~20 d植株叶片倒1叶与倒3叶SPAD相对差值、现蕾后10 d植株叶片倒2叶与倒3叶SPAD相对差值具有拟合度最优( $R^2 = 0.48 \sim 0.62$ )。

**关键词:** 马铃薯; 氮肥运筹; 秸秆覆盖; 块茎产量; SPAD值

## Effects of Rice Straw Mulching and Nitrogen Application Level on Tuber Yield of Winter Sowing Potato

YAN Fengjun<sup>1</sup>, LI Dengcai<sup>2</sup>, DONG Zhirui<sup>1</sup>, YU Liping<sup>1</sup>, FENG Haojie<sup>1</sup>, WANG Qiang<sup>1</sup>, ZHANG Fan<sup>3</sup>, WANG Xiyao<sup>1\*</sup>

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China; 2. Agricultural and Rural Bureau of Butuo County, Butuo, Sichuan 616350, China; 3. Chengdu Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Chengdu, Sichuan 611130, China)

**Abstract:** A split-plot design was used, with the main plots assigned to rice straw mulching and no straw mulching, and sub-plots to nitrogen application levels of 0, 100 and 150 kg/ha, using a native variety, 'Butuowuyangyu', as the test material to explore the effects of rice straw mulching and nitrogen fertilization on winter potato yield in low altitude plains. The effects of each treatment on potato stolon genesis, dry matter accumulation at bud flower stage and yield were analyzed, and the correlation between SPAD values of leaves at the bud flower stage and tuber yield were explored. Compared to the no-straw treatment, straw mulching reduced the occurrence of potato main stems, but significantly

收稿日期: 2022-08-21

基金项目: 国家现代农业产业技术体系四川薯类产业创新团队(sccxttd-2022-09)。

作者简介: 严奉君(1989-), 男, 讲师, 主要从事马铃薯高产栽培与产业智慧化研究。

\*通信作者(Corresponding author): 王西瑶, 教授, 主要从事马铃薯栽培与马铃薯种薯活力调控研究, E-mail: wxyrtl@163.com。

increased the thickness of stem and dry matter accumulation at bud flower stage. The straw mulching treatment increased the stolon initiation sites, therefore, increased the tuber yield by 6.43% as compared to no-straw treatment. Increasing nitrogen fertilizer application significantly promoted the main stem number, stem diameter and aboveground dry weight of potato in the bud flower stage, but excessive nitrogen fertilizer application significantly increased SPAD value of the third leaf at bud flower stage, resulting in imbalance of plant nutrient source and sink, and consequently reduced yield. But no significant difference was found in yield between straw mulching combined with 100 and 150 kg/ha of nitrogen application and no nitrogen application treatments, indicating that straw mulching could achieve nutrient supply to potato growth and exogenous applied nitrogen uptake and utilization, thus ensuring tuber yield formation. The correlation and path analysis between leaf SPAD D-value and tuber yield of potato plants from 0 to 20 days after budding also showed that the potato tuber yield and SPAD D-value of the first leaf and the second leaf at 0 and 20 days after budding of plants, the first leaf and the third leaf during 0-20 days after budding, and the second leaf and the third leaf at 10 days after budding had the best fit ( $R^2=0.48-0.62$ ).

**Key Words:** potato; nitrogen fertilizer management; straw mulching; tuber yield; SPAD value

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)作为中国第四大主粮作物,具有适应性广、营养价值高,广泛种植于丘陵、高寒等偏远山区,并具粮菜兼用,高收益比等优良特性,因此,马铃薯产业发展对促进农民收入,实现乡村振兴具有重要意义。中国马铃薯种植面积和总产均处于世界第一,但中国马铃薯平均产量低于世界平均水平13.15%,低于美国等发达国家1.75倍<sup>[1]</sup>,而马铃薯栽培技术较为粗放,特别是针对养分管理模式的研究相比滞后,成为制约中国马铃薯单产提升的主要因素。四川省是中国马铃薯优势产区,成都平原、盆周山区其独特气候条件能够实现马铃薯周年生产,其中冬薯生产因能与其他主产区错峰上市,具有生育期短、经济效益好等特征<sup>[2]</sup>,但目前由于低温冻害、栽培管理粗放等问题严重制约了该区域冬作马铃薯的生产。

氮素是作物产量形成的重要因子之一,合理的施氮量能够在有效保证作物稳产高产的前提下,显著提高氮素利用率,降低氮肥污染环境的风险<sup>[3]</sup>。研究表明,合理的氮肥施用能够有效调节马铃薯器官建成、物质代谢,从而显著提高块茎产量与品质<sup>[4-7]</sup>;过量施氮会导致茎叶徒长,延迟块茎成熟,而过低的氮素投入也会导致植株生长受限,从而显著降低马铃薯块茎产量与品质。与此同时,作物秸秆因其富含丰富营养物质<sup>[8]</sup>,秸秆覆盖还田,

能有效提高土壤肥力,提高土壤水分<sup>[9]</sup>及水分利用率<sup>[10]</sup>,保持土壤温度<sup>[11]</sup>,同时还能有效防治病害<sup>[12]</sup>。王平等<sup>[13]</sup>研究表明,秸秆覆盖能提前冬马铃薯出苗;钱玉平等<sup>[14]</sup>研究表明,秸秆覆盖能提高马铃薯单薯重、商品薯率。李玉梅等<sup>[15]</sup>研究表明,秸秆还田对马铃薯块茎膨大期、淀粉积累期的植株及根系生长有明显的促进作用。中国秸秆资源丰富,四川省马铃薯冬作较大部分前茬作物均为水稻,可为马铃薯生产提供大量秸秆。但是,目前对于氮肥运筹与秸秆覆盖在冬作马铃薯生长及产量的影响研究还较少,尤其缺乏氮肥运筹与秸秆覆盖耦合下的相关研究。此外,功能叶SPAD测定可作为作物氮素营养诊断和推荐施肥的重要手段<sup>[16]</sup>,通过对马铃薯叶片SPAD测定能够有效监测马铃薯氮素需求状况<sup>[17-19]</sup>,保障马铃薯氮素有效供给,从而促进块茎产量与品质形成,但以SPAD进行马铃薯氮素诊断时可受叶位、测定位点、生育时期、地点、年份、品种等因素的影响,且由于马铃薯形态特征及产量构成的特殊性,基于SPAD值对马铃薯产量进行预测的研究还鲜有报道。对此,本研究以四川省特色地方资源材料‘布拖乌洋芋’为试验材料,设置不同施氮量以及水稻秸秆覆盖处理,探究不同氮素施用水平对马铃薯产量形成的影响规律,分析马铃薯叶片SPAD值与马铃薯产量的相互关系,以期为

区域冬薯生产氮肥管理提供一定的理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料选用四川特色地方资源‘布拖乌洋芋’(由四川农业大学农学院马铃薯研究与开发中心提供), 2021年12月23日在崇州市四川农业大学现代农业研发基地进行播种, 试验地为沙质红壤土, 含有机质 18.00 g/kg, 全氮 1.26 g/kg, 有效氮 20.13 mg/kg, 有效磷 51.60 mg/kg, 有效钾 55.98 mg/kg, pH 6.40。

### 1.2 试验设计

试验采用两因素裂区试验设计, 主区分为水稻秸秆覆盖( $M_1$ )和无秸秆覆盖( $M_0$ ), 副区为不同氮素施用水平, 设置3种不同施氮水平处理, 分别为不施氮( $N_0$ )、100 kg/hm<sup>2</sup>( $N_1$ )和150 kg/hm<sup>2</sup>( $N_2$ )纯氮施用。播种前将种薯均匀切块, 保证每一块都带有至少3个芽眼且芽眼数相近。将切块后种薯采用灭菌宁溶液处理, 浸泡30 min, 晾干后播种。试验采用马铃薯大垄双行高产栽培, 播种小区面积16 m<sup>2</sup>, 每小区4垄, 垄长5 m, 垄距90 cm, 株距30 cm, 3次重复, 大垄双行错窝播种, 水稻秸秆采用全量还田, 均匀覆盖于马铃薯垄面, 总覆盖量7 500 kg/hm<sup>2</sup>。施用磷肥(过磷酸钙,  $P_2O_5$  16%)折合 $P_2O_5$  75 kg/hm<sup>2</sup>、钾肥(氯化钾,  $K_2O$  60%)施用量折合 $K_2O$  300 kg/hm<sup>2</sup>作底肥一次性施用, 氮肥(尿素, N 46%)于播种时与幼苗期按5:5施用, 其他同大田生产管理。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 马铃薯植株形态测定

于马铃薯现蕾期及现蕾期后0 d取植株样, 每小区在尽量不损失根系的情况下将植株挖出, 每处理随机取样3株, 分别测定其植株株高、茎粗与匍匐茎发生节位间距。

匍匐茎发生节位间距: 马铃薯地下部植株从生物学下到上, 以第1个匍匐茎发生开始计数, 第1个匍匐茎发生位点到第2个马铃薯匍匐茎发生位点的距离记作1-2, 直至第n个匍匐茎发生位点到

第n+1个匍匐茎发生位点记作n-(n+1), 测量2个匍匐茎发生位点之间的距离<sup>[20]</sup>。

#### 1.3.2 马铃薯植株SPAD测定

于马铃薯现蕾期及现蕾期后0、10和20 d, 每小区选取长势一致的植株5株, 采用SPAD-502 plus便携式测定仪对倒数第1片全叶至倒3叶进行测定, 分别记为SPAD<sub>1</sub>、SPAD<sub>2</sub>、SPAD<sub>3</sub>。计算叶片SPAD相对差值。

叶片SPAD相对差值 $[SPAD_{n-(n+1)}] = SPAD_n - SPAD_{n+1}$

#### 1.3.3 马铃薯产量测定

于2021年4月18日马铃薯收获时, 按每小区马铃薯植株测定块茎鲜重产量。

### 1.4 数据处理与分析

采用软件Excel 2016进行试验数据统计与表格制作, 采用软件SPSS 27.0进行处理间差异显著性、通径及相关性分析, 采用软件JMP 13进行回归方程拟合。

## 2 结果与分析

### 2.1 秸秆覆盖与氮肥施用水平对马铃薯现蕾期形态指标的影响

秸秆覆盖与施氮水平均对马铃薯现蕾期形态指标(株高除外)及地上部干物重有显著或极显著的影响, 且存在显著或极显著的互作效应。相较于无秸秆覆盖处理( $M_0$ ), 秸秆覆盖处理( $M_1$ )下马铃薯植株主茎数降低极显著, 降低幅度达22.40%; 但在茎粗与地上部干物重方面, 在现蕾期 $M_1$ 均较 $M_0$ 显著提高, 分别增加9.89%和10.40%。

同时, 对比各氮肥施用处理, 在 $M_0$ 下, 各处理均表现为随着施氮量的增加, 马铃薯主茎数、茎粗均随施肥量的增加而显著增加,  $N_1$ 、 $N_2$ 分别较 $N_0$ 增加25.00%、8.38%与50.00%、11.11%; 而地上部干物重方面则随施氮量的增加均显著增加, 分别增加14.16%与65.36%。而在 $M_1$ 下, 株高则表现为随着施氮量的增加而呈现先增加后降低的趋势, 以 $N_1$ 处理最高; 而在植株茎粗与地上部干物重方面则表现为以 $N_2$ 显著高于其他处理(茎粗 $N_1$ 除外), 而以 $N_0$ 最低(表1)。

表1 秸秆覆盖与氮肥施用水平对现蕾期植株形态指标的影响

Table 1 Effects of straw mulching and nitrogen application level on plant morphological indices at bud flower stage

| 处理<br>Treatment |                | 主茎数(No.)<br>Main stem number | 株高(cm)<br>Plant height | 茎粗(mm)<br>Stem diameter | 地上部干物重(g/株)<br>Aboveground dry weight (g/plant) |
|-----------------|----------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|
| M <sub>0</sub>  | N <sub>0</sub> | 2.00 bc                      | 53.42 a                | 5.13 c                  | 22.95 f                                         |
|                 | N <sub>1</sub> | 2.50 ab                      | 43.07 d                | 5.56 b                  | 26.20 e                                         |
|                 | N <sub>2</sub> | 3.00 a                       | 46.84 c                | 5.70 b                  | 37.95 a                                         |
|                 | 平均值 Average    | 2.50                         | 47.77                  | 5.46                    | 29.03                                           |
| M <sub>1</sub>  | N <sub>0</sub> | 1.83 c                       | 43.05 d                | 4.45 d                  | 28.75 d                                         |
|                 | N <sub>1</sub> | 2.17 bc                      | 52.56 a                | 6.72 a                  | 30.80 c                                         |
|                 | N <sub>2</sub> | 1.83 c                       | 49.12 b                | 6.84 a                  | 36.62 b                                         |
|                 | 平均值 Average    | 1.94                         | 48.24                  | 6.00                    | 32.05                                           |
| F               | M              | 16.67**                      | 1.18**                 | 98.99**                 | 151.812**                                       |
|                 | N              | 5.17*                        | 0.32**                 | 300.92**                | 140.129**                                       |
|                 | M*N            | 5.17*                        | 179.37**               | 126.05**                | 735.089**                                       |

注: 多重比较采用最小显著性差异法, 不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著。N<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>分别表示不施氮、100 kg/hm<sup>2</sup>、150 kg/hm<sup>2</sup>纯氮施用, M<sub>0</sub>、M<sub>1</sub>表示无秸秆覆盖、秸秆覆盖, \*表示显著, \*\*表示极显著, ns表示不显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at the level of 0.05 as tested by using least significance difference (LSD) method in different treatment. In the treatment, N<sub>0</sub>, N<sub>1</sub> and N<sub>2</sub> represent no nitrogen application, 100 kg/ha and 150 kg/ha pure nitrogen application, respectively. M<sub>0</sub> and M<sub>1</sub> represent no straw mulching and straw mulching. \* means significance, \*\* means highly significance, and ns means non-significance. The same below.

## 2.2 秸秆覆盖与氮肥施用水平对马铃薯产量形成及产量的影响

秸秆覆盖与氮肥施用水平对1-2匍匐茎发生间距无显著影响, 但对2-3与3-4发生位点间距有显著或极显著的影响(秸秆覆盖2-3匍匐茎发生间距除外), 且秸秆覆盖与氮肥施用水平对各位点发生间距均有显著或极显著的互作效应。对比不同秸秆覆盖处理, M<sub>1</sub>增加了植株匍匐茎位点的发生。而对比不同氮肥处理, 在M<sub>0</sub>下, 相较于N<sub>0</sub>, N<sub>1</sub>在1-2发生位点间距显著降低, 而在2-3发生位点间距增大, 但差异不显著; 相较于N<sub>0</sub>, N<sub>2</sub>则在1-2发生位点间距增加, 但差异不显著, 但在2-3则显著降低。在M<sub>1</sub>下, 在1-2、2-3匍匐茎发生位点间距均表现为随施氮量的增加而降低, 且2-3匍匐茎发生位点间距显著变化, 而在3-4匍匐茎发生位点间距则随施氮量的增加而显著增加。

在产量方面, 秸秆覆盖与氮肥施用水平对块茎产量有极显著的影响且存在极显著的互作效应。相

较于M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>块茎产量增加6.43%。而对比不同施氮水平, 在M<sub>0</sub>下, N<sub>1</sub>处理下块茎产量显著高于其他处理, 而N<sub>2</sub>次之; 而在M<sub>1</sub>下, 各处理则表现为以N<sub>0</sub>产量最高, 但与N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>无显著差异(表2)。

## 2.3 秸秆覆盖与氮肥施用水平对马铃薯叶片SPAD值的影响

秸秆覆盖与施氮水平对马铃薯叶片SPAD值有极显著的影响, 且存在极显著的互作效应。相较于M<sub>0</sub>, 在现蕾后0 d、现蕾后10 d马铃薯植株倒3叶SPAD值M<sub>1</sub>均极显著降低; 而在现蕾后20 d则表现为, 相较于M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>倒1叶SPAD值(SPAD<sub>1</sub>)极显著增加, 但倒2叶SPAD值(SPAD<sub>2</sub>)与倒3叶SPAD值(SPAD<sub>3</sub>)则均极显著降低。对比不同施氮水平, 在M<sub>0</sub>下, 在现蕾后0 d植株叶片SPAD<sub>1</sub>、SPAD<sub>2</sub>均表现为随施氮量的增加而显著增加, 而在现蕾后10 d则N<sub>2</sub>显著高于其他处理; 在M<sub>1</sub>下, N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>均较N<sub>0</sub>有显著增加(现蕾后0 d SPAD<sub>3</sub>除外)(表3)。

表2 秸秆覆盖与氮肥施用水平对匍匐茎发生及产量的影响

Table 2 Effects of straw mulching and nitrogen application level on stolon genesis and yield

| 处理<br>Treatment |                | 匍匐茎发生位点间距(mm)<br>Spacing of stolon sites |                     |                        | 产量(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Yield (kg/ha) |
|-----------------|----------------|------------------------------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------------|
|                 |                | 1-2                                      | 2-3                 | 3-4                    |                                          |
| M <sub>0</sub>  | N <sub>0</sub> | 0.87 ab                                  | 1.43 ab             | —                      | 27 600 c                                 |
|                 | N <sub>1</sub> | 0.75 c                                   | 1.56 a              | —                      | 39 400 a                                 |
|                 | N <sub>2</sub> | 1.01 a                                   | 0.88 c              | —                      | 29 400 c                                 |
|                 | 平均 Average     | 0.87                                     | 1.29                | —                      | 32 133                                   |
| M <sub>1</sub>  | N <sub>0</sub> | 0.97 a                                   | 1.45 a              | —                      | 35 900 b                                 |
|                 | N <sub>1</sub> | 0.95 a                                   | 1.13 bc             | 1.53 b                 | 33 300 b                                 |
|                 | N <sub>2</sub> | 0.84 ab                                  | 0.99 c              | 2.46 a                 | 33 400 b                                 |
|                 | 平均 Average     | 0.92                                     | 1.19                | 1.99                   | 34 200                                   |
| F               | M              | 1.11 <sup>ns</sup>                       | 1.48 <sup>ns</sup>  | 4 697.73 <sup>**</sup> | 19.99 <sup>**</sup>                      |
|                 | N              | 1.29 <sup>ns</sup>                       | 15.29 <sup>**</sup> | 1 368.60 <sup>**</sup> | 109.33 <sup>**</sup>                     |
|                 | M*N            | 6.35 <sup>*</sup>                        | 4.36 <sup>*</sup>   | 1 368.60 <sup>**</sup> | 125.10 <sup>**</sup>                     |

注: 匍匐茎发生位点间距指相邻匍匐茎发生节间距。‘1-2’表示第1节匍匐茎发生位点和第2节匍匐茎发生位点间距, ‘2-3’表示第2节匍匐茎发生位点和第3节匍匐茎发生位点间距, ‘3-4’表示第3节匍匐茎发生位点和第4节匍匐茎发生位点间距。下同。

Note: Stolon interval refers to the interval between adjacent stolon. '1-2' indicates the distance between the first and second stolon sites; '2-3' indicates the distance between the second and third stolon sites; and '3-4' indicates the distance between the third and fourth stolon sites. The same below.

表3 秸秆覆盖与氮肥施用水平对叶片SPAD值的影响

Table 3 Effects of straw mulching and nitrogen application level on SPAD value

| 处理<br>Treatment |                | 现蕾后0 d SPAD值<br>SPAD value 0 d after budding |                      |                     | 现蕾后10 d SPAD值<br>SPAD value 10 d after budding |                      |                      | 现蕾后20 d SPAD值<br>SPAD value 20 d after budding |                      |                      |
|-----------------|----------------|----------------------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
|                 |                | SPAD <sub>1</sub>                            | SPAD <sub>2</sub>    | SPAD <sub>3</sub>   | SPAD <sub>1</sub>                              | SPAD <sub>2</sub>    | SPAD <sub>3</sub>    | SPAD <sub>1</sub>                              | SPAD <sub>2</sub>    | SPAD <sub>3</sub>    |
| M <sub>0</sub>  | N <sub>0</sub> | 54.33 a                                      | 47.07 c              | 45.00 bc            | 52.17 c                                        | 48.60 d              | 48.77 d              | 47.70 c                                        | 50.70 a              | 50.87 a              |
|                 | N <sub>1</sub> | 51.33 b                                      | 49.00 b              | 48.17 a             | 51.27 d                                        | 48.43 d              | 43.70 e              | 48.43 c                                        | 46.43 b              | 49.97 b              |
|                 | N <sub>2</sub> | 51.57 b                                      | 50.63 a              | 44.97 bc            | 59.80 a                                        | 58.53 a              | 57.43 a              | 48.07 c                                        | 47.07 b              | 51.23 a              |
|                 | 平均 Average     | 52.41                                        | 48.90                | 46.04               | 54.41                                          | 51.86                | 49.97                | 48.07                                          | 48.07                | 50.69                |
| M <sub>1</sub>  | N <sub>0</sub> | 44.33 d                                      | 42.73 d              | 45.77 b             | 45.27 e                                        | 44.27 e              | 42.30 f              | 45.57 d                                        | 43.27 c              | 46.23 d              |
|                 | N <sub>1</sub> | 51.50 b                                      | 50.50 a              | 45.03 bc            | 52.90 c                                        | 52.23 b              | 50.30 c              | 51.77 a                                        | 46.63 b              | 49.30 b              |
|                 | N <sub>2</sub> | 47.17 c                                      | 47.93 c              | 44.30 c             | 54.50 b                                        | 50.97 c              | 53.60 b              | 49.53 b                                        | 50.07 a              | 47.43 c              |
|                 | 平均 Average     | 47.67                                        | 47.06                | 45.03               | 50.89                                          | 49.16                | 48.73                | 48.96                                          | 46.66                | 47.66                |
| F               | M              | 277.94 <sup>**</sup>                         | 66.88 <sup>**</sup>  | 15.48 <sup>**</sup> | 304.51 <sup>**</sup>                           | 98.09 <sup>**</sup>  | 32.94 <sup>**</sup>  | 15.50 <sup>**</sup>                            | 34.10 <sup>**</sup>  | 204.19 <sup>**</sup> |
|                 | N              | 23.44 <sup>**</sup>                          | 187.66 <sup>**</sup> | 19.89 <sup>**</sup> | 589.78 <sup>**</sup>                           | 310.62 <sup>**</sup> | 839.13 <sup>**</sup> | 80.20 <sup>**</sup>                            | 26.04 <sup>**</sup>  | 9.26 <sup>**</sup>   |
|                 | M*N            | 106.72 <sup>**</sup>                         | 59.35 <sup>**</sup>  | 19.64 <sup>**</sup> | 168.34 <sup>**</sup>                           | 153.84 <sup>**</sup> | 344.75 <sup>**</sup> | 50.48 <sup>**</sup>                            | 166.46 <sup>**</sup> | 32.36 <sup>**</sup>  |

秸秆覆盖与施氮水平(现蕾后 0 d SPAD<sub>1-3</sub>和现蕾后 10 d SPAD<sub>1-2</sub>除外)对各时期叶片 SPAD 相对差值有显著或极显著的影响, 且存在极显著的互作效应。相较于 M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>在现蕾后 0 d、现蕾后 10 d 植株叶片倒 1 叶与倒 2 叶 SPAD 相对差值(SPAD<sub>1-2</sub>)、植株叶片倒 1 叶与倒 3 叶 SPAD 相对差值(SPAD<sub>1-3</sub>)、植株叶片倒 2 叶与倒 3 叶 SPAD 相对差值(SPAD<sub>2-3</sub>)均显著或极显著降低, 但在现蕾后 20 d 植株叶片 SPAD<sub>1-2</sub>、SPAD<sub>1-3</sub>、SPAD<sub>2-3</sub>值

M<sub>1</sub>均较 M<sub>0</sub>极显著增加。对比不同施氮水平, 在 M<sub>0</sub>下, 在现蕾后 0 d 除 SPAD<sub>1-2</sub>, N<sub>2</sub>显著低于 N<sub>1</sub>外, SPAD<sub>1-3</sub>与 SPAD<sub>2-3</sub>均表现为 N<sub>1</sub>显著低于其他处理, 但在现蕾后 10 d 与现蕾后 20 d 植株 SPAD<sub>1-2</sub>、SPAD<sub>1-3</sub>表现为 N<sub>2</sub>显著低于其他处理(现蕾后 20 d SPAD<sub>1-2</sub>、SPAD<sub>1-3</sub>除外)。而在 M<sub>1</sub>下则表现为, 除在现蕾后 10 d SPAD<sub>1-2</sub>与现蕾后 20 d SPAD<sub>2-3</sub>, N<sub>2</sub>显著高于 N<sub>1</sub>外, 在其他时期均为 N<sub>2</sub>显著低于 N<sub>1</sub>(现蕾后 20 d SPAD<sub>1-3</sub>除外)(表 4)。

表 4 秸秆覆盖与氮肥施用水平对叶片 SPAD 相对差值的影响  
Table 4 Effects of straw mulching and nitrogen application level on SPAD D-value

| 处理<br>Treatment |                | 现蕾后 0 d<br>0 d after budding |                     |                     | 现蕾后 10 d<br>10 d after budding |                     |                     | 现蕾后 20 d<br>20 d after budding |                     |                     |
|-----------------|----------------|------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
|                 |                | SPAD <sub>1-2</sub>          | SPAD <sub>1-3</sub> | SPAD <sub>2-3</sub> | SPAD <sub>1-2</sub>            | SPAD <sub>1-3</sub> | SPAD <sub>2-3</sub> | SPAD <sub>1-2</sub>            | SPAD <sub>1-3</sub> | SPAD <sub>2-3</sub> |
| M <sub>0</sub>  | N <sub>0</sub> | 7.27 a                       | 9.33 a              | 2.07 c              | 3.57 a                         | 3.40 b              | -0.17 c             | -3.00 e                        | -3.17 c             | -0.17 b             |
|                 | N <sub>1</sub> | 2.33 b                       | 3.17 c              | 0.83 d              | 2.83 a                         | 7.57 a              | 4.73 a              | 2.00 b                         | -1.53 b             | -3.53 cd            |
|                 | N <sub>2</sub> | 0.93 d                       | 6.60 b              | 5.67 a              | 1.27 b                         | 2.37 c              | 1.10 bc             | 1.00 c                         | -3.17 c             | -4.17 d             |
|                 | 平均 Average     | 3.51                         | 6.37                | 2.86                | 2.56                           | 4.44                | 1.89                | 0.00                           | -2.62               | -2.62               |
| M <sub>1</sub>  | N <sub>0</sub> | 1.60 c                       | -1.43 d             | -3.03 e             | 1.00 b                         | 2.97 bc             | 1.97 b              | 2.30 b                         | -0.67 b             | -2.97 c             |
|                 | N <sub>1</sub> | 1.00 d                       | 6.47 b              | 5.47 a              | 0.67 b                         | 2.60 bc             | 1.93 b              | 5.13 a                         | 2.47 a              | -2.67 c             |
|                 | N <sub>2</sub> | -0.77 e                      | 2.87 c              | 3.63 b              | 3.53 a                         | 0.90 d              | -2.63 d             | -0.53 d                        | 2.10 a              | 2.63 a              |
|                 | 平均 Average     | 0.61                         | 2.63                | 2.02                | 1.73                           | 2.16                | 0.42                | 2.30                           | 1.30                | -1.00               |
| F               | M              | 500.89**                     | 92.31**             | 5.00*               | 6.48**                         | 98.23**             | 18.23**             | 306.06**                       | 273.87**            | 50.39**             |
|                 | N              | 384.93**                     | 2.02**              | 66.88**             | 1.54**                         | 74.65**             | 48.03**             | 344.46**                       | 34.00**             | 35.90**             |
|                 | M*N            | 114.64**                     | 109.21**            | 59.44**             | 22.99**                        | 35.28**             | 28.07**             | 235.18**                       | 11.38**             | 149.80**            |

## 2.4 现蕾期马铃薯顶部叶片 SPAD 值与块茎产量的相关性分析

在马铃薯现蕾期叶片 SPAD 值与块茎产量方面相关性, 除块茎产量与 X<sub>3</sub>有极显著正相关( $r = 0.69^{**}$ ), 与 X<sub>6</sub>、X<sub>8</sub>有显著负相关( $r = -0.50^*$ ,  $-0.49^*$ )外, 与其他指标均无显著相关性。而在通径分析方面, 各因子对块茎产量的总通径系数为 0.97, 各指标对块茎产量的直接影响表现为 X<sub>2</sub>>X<sub>1</sub>>X<sub>3</sub>>X<sub>6</sub>>X<sub>4</sub>>X<sub>3</sub>>X<sub>7</sub>>X<sub>9</sub>>X<sub>8</sub>, 同时各因子对产量间接通径系数表现为, 各因子主要通过 X<sub>1</sub>—X<sub>6</sub>, 其通径系数为 1.57~1.18(表 5)。

在马铃薯现蕾期叶片 SPAD 相对差值与块茎产量相关性方面, 块茎产量除与 L<sub>2</sub>、L<sub>6</sub>、L<sub>7</sub>、L<sub>9</sub>无显著相关性外, 与其他因子均有显著或极显著的相关关系( $-0.60^{**}$ ~ $0.56^*$ )。而在通径分析方面, 各因子对块茎产量的总通径系数为 0.92, 各指标对块茎产量的直接影响表现为 L<sub>5</sub>>L<sub>1</sub>>L<sub>8</sub>>L<sub>4</sub>>L<sub>3</sub>>L<sub>6</sub>, 而 L<sub>2</sub>、L<sub>7</sub>、L<sub>9</sub>与块茎产量均无直接与间接影响(表 6)。

## 2.5 现蕾期马铃薯顶部叶片 SPAD 值与块茎产量的拟合分析

现蕾期叶片 SPAD 差值与块茎产量回归分析见图 1。

表5 马铃薯现蕾期叶片SPAD值与块茎产量途径及相关性分析

Table 5 Correlation and path analysis between SPAD value at bud flower stage and tuber yield

| 因子<br>Index    | 途径系数<br>Path coefficient |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 相关系数<br>Correlation coefficient |
|----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
|                | →X <sub>1</sub>          | →X <sub>2</sub> | →X <sub>3</sub> | →X <sub>4</sub> | →X <sub>5</sub> | →X <sub>6</sub> | →X <sub>7</sub> | →X <sub>8</sub> | →X <sub>9</sub> |                                 |
| X <sub>1</sub> | -1.18                    | 1.05            | 0.02            | 0.19            | -0.31           | -0.21           | -0.06           | 0.04            | 0.11            | -0.35                           |
| X <sub>2</sub> | -0.79                    | 1.57            | -0.01           | 0.31            | -0.58           | -0.46           | -0.13           | 0.03            | 0.08            | 0.01                            |
| X <sub>3</sub> | -0.08                    | -0.07           | 0.25            | -0.13           | 0.25            | 0.45            | 0.03            | -0.03           | 0.01            | 0.69**                          |
| X <sub>4</sub> | -0.60                    | 1.28            | -0.08           | 0.37            | -0.69           | -0.66           | -0.08           | 0.04            | 0.08            | -0.34                           |
| X <sub>5</sub> | -0.50                    | 1.26            | -0.08           | 0.36            | -0.72           | -0.64           | -0.08           | 0.02            | 0.07            | -0.31                           |
| X <sub>6</sub> | -0.35                    | 1.01            | -0.16           | 0.35            | -0.65           | -0.71           | -0.07           | 0.04            | 0.05            | -0.50*                          |
| X <sub>7</sub> | -0.43                    | 1.15            | -0.04           | 0.16            | -0.32           | -0.30           | -0.17           | 0.03            | 0.03            | 0.10                            |
| X <sub>8</sub> | -0.64                    | 0.57            | -0.10           | 0.19            | -0.20           | -0.37           | -0.07           | 0.08            | 0.05            | -0.49*                          |
| X <sub>9</sub> | -1.07                    | 1.08            | 0.03            | 0.24            | -0.44           | -0.30           | -0.04           | 0.03            | 0.12            | -0.35                           |

注: X<sub>1</sub>-现蕾后0 d SPAD<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>-现蕾后10 d SPAD<sub>1</sub>, X<sub>3</sub>-现蕾后20 d SPAD<sub>1</sub>, X<sub>4</sub>-现蕾后0 d SPAD<sub>2</sub>, X<sub>5</sub>-现蕾后10 d SPAD<sub>2</sub>, X<sub>6</sub>-现蕾后20 d SPAD<sub>2</sub>, X<sub>7</sub>-现蕾后0 d SPAD<sub>3</sub>, X<sub>8</sub>-现蕾后10 d SPAD<sub>3</sub>, X<sub>9</sub>-现蕾后20 d SPAD<sub>3</sub>。

Note: X<sub>1</sub>-0 d after budding SPAD<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>-10 d after budding SPAD<sub>1</sub>, X<sub>3</sub>-20 d after budding SPAD<sub>1</sub>, X<sub>4</sub>-0 d after budding SPAD<sub>2</sub>, X<sub>5</sub>-10 d after budding SPAD<sub>2</sub>, X<sub>6</sub>-20 d after budding SPAD<sub>2</sub>, X<sub>7</sub>-0 d after budding SPAD<sub>3</sub>, X<sub>8</sub>-10 d after budding SPAD<sub>3</sub>, X<sub>9</sub>-20 d after budding SPAD<sub>3</sub>。

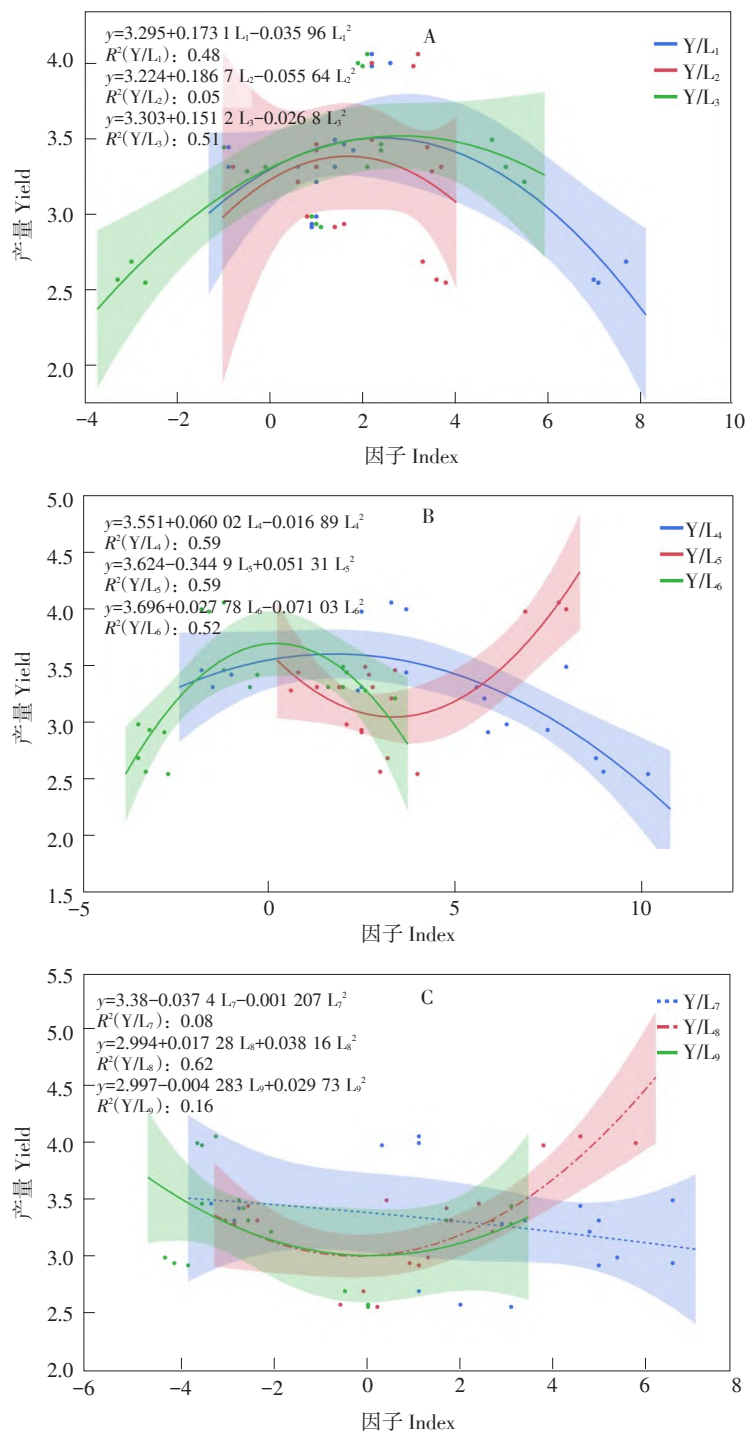
表6 马铃薯现蕾期叶片SPAD相对差值与块茎产量途径及相关性分析

Table 6 Correlation and path analysis between SPAD D-value at bud flower stage and tuber yield

| 因子<br>Index    | 途径系数<br>Path coefficient |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | 相关系数<br>Correlation coefficient |
|----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
|                | →L <sub>1</sub>          | →L <sub>2</sub> | →L <sub>3</sub> | →L <sub>4</sub> | →L <sub>5</sub> | →L <sub>6</sub> | →L <sub>7</sub> | →L <sub>8</sub> | →L <sub>9</sub> |                                 |
| L <sub>1</sub> | -0.42                    | 0.00            | -0.11           | -0.14           | 0.35            | -0.11           | 0.00            | -0.04           | 0.00            | -0.49*                          |
| L <sub>2</sub> | 0.00                     | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | -0.06                           |
| L <sub>3</sub> | 0.23                     | 0.00            | 0.21            | 0.09            | 0.15            | 0.09            | 0.00            | -0.22           | 0.00            | 0.56*                           |
| L <sub>4</sub> | -0.22                    | 0.00            | -0.07           | -0.27           | -0.05           | -0.06           | 0.00            | 0.08            | 0.00            | -0.60**                         |
| L <sub>5</sub> | -0.14                    | 0.00            | 0.03            | 0.01            | 1.05            | -0.06           | 0.00            | -0.33           | 0.00            | 0.56*                           |
| L <sub>6</sub> | 0.26                     | 0.00            | 0.11            | 0.08            | -0.37           | 0.18            | 0.00            | 0.10            | 0.00            | 0.36                            |
| L <sub>7</sub> | 0.00                     | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | -0.29                           |
| L <sub>8</sub> | -0.04                    | 0.00            | 0.11            | 0.05            | 0.87            | -0.04           | 0.00            | -0.40           | 0.00            | 0.55*                           |
| L <sub>9</sub> | 0.00                     | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | 0.00            | -0.24                           |

注: L<sub>1</sub>-现蕾后0 d SPAD<sub>1-2</sub>, L<sub>2</sub>-现蕾后10 d SPAD<sub>1-2</sub>, L<sub>3</sub>-现蕾后20 d SPAD<sub>1-2</sub>, L<sub>4</sub>-现蕾后0 d SPAD<sub>1-3</sub>, L<sub>5</sub>-现蕾后10 d SPAD<sub>1-3</sub>, L<sub>6</sub>-现蕾后20 d SPAD<sub>1-3</sub>, L<sub>7</sub>-现蕾后0 d SPAD<sub>2-3</sub>, L<sub>8</sub>-现蕾后10 d SPAD<sub>2-3</sub>, L<sub>9</sub>-现蕾后20 d SPAD<sub>2-3</sub>。

Note: L<sub>1</sub>-0 d after budding SPAD<sub>1-2</sub>, L<sub>2</sub>-10 d after budding SPAD<sub>1-2</sub>, L<sub>3</sub>-20 d after budding SPAD<sub>1-2</sub>, L<sub>4</sub>-0 d after budding SPAD<sub>1-3</sub>, L<sub>5</sub>-10 d after budding SPAD<sub>1-3</sub>, L<sub>6</sub>-20 d after budding SPAD<sub>1-3</sub>, L<sub>7</sub>-0 d after budding SPAD<sub>2-3</sub>, L<sub>8</sub>-10 d after budding SPAD<sub>2-3</sub>, L<sub>9</sub>-20 d after budding SPAD<sub>2-3</sub>。



注:  $L_1$ —现蕾后 0 d SPAD<sub>1-2</sub>,  $L_2$ —现蕾后 10 d SPAD<sub>1-2</sub>,  $L_3$ —现蕾后 20 d SPAD<sub>1-2</sub>,  $L_4$ —现蕾后 0 d SPAD<sub>1-3</sub>,  $L_5$ —现蕾后 10 d SPAD<sub>1-3</sub>,  $L_6$ —现蕾后 20 d SPAD<sub>1-3</sub>,  $L_7$ —现蕾后 0 d SPAD<sub>2-3</sub>,  $L_8$ —现蕾后 10 d SPAD<sub>2-3</sub>,  $L_9$ —现蕾后 20 d SPAD<sub>2-3</sub>。

Note:  $L_1$ —0 d after budding SPAD<sub>1-2</sub>,  $L_2$ —10 d after budding SPAD<sub>1-2</sub>,  $L_3$ —20 d after budding SPAD<sub>1-2</sub>,  $L_4$ —0 d after budding SPAD<sub>1-3</sub>,  $L_5$ —10 d after budding SPAD<sub>1-3</sub>,  $L_6$ —20 d after budding SPAD<sub>1-3</sub>,  $L_7$ —0 d after budding SPAD<sub>2-3</sub>,  $L_8$ —10 d after budding SPAD<sub>2-3</sub>,  $L_9$ —20 d after budding SPAD<sub>2-3</sub>.

图1 现蕾期叶片SPAD差值与块茎产量回归分析

Figure 1 Regression analysis between SPAD D-value at bud flower stage and tuber yield

马铃薯植株 SPAD<sub>1-2</sub> 在现蕾后 0 d、现蕾后 10 d 和现蕾后 20 d 均与块茎产量呈抛物线关系 (图 1A), 其中  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  与块茎产量拟合  $R^2 = 0.48$ 、 $0.05$ 、 $0.51$ , 拟合方程分别为  $y = 3.295 + 0.173 1 L_1 - 0.035 96 L_1^2$ 、 $y = 3.224 + 0.186 7 L_2 - 0.055 64 L_2^2$  与  $y = 3.303 + 0.151 2 L_3 - 0.026 8 L_3^2$ 。马铃薯植株 SPAD<sub>1-3</sub> 在现蕾后 0 d、现蕾后 10 d 和现蕾后 20 d 均与块茎产量回归分析见图 1B,  $L_4$ 、 $L_5$ 、 $L_6$  与块茎产量拟合  $R^2 = 0.59$ 、 $0.59$ 、 $0.52$ , 拟合方程分别为  $y = 3.551 + 0.060 02 L_4 - 0.016 89 L_4^2$ 、 $y = 3.624 - 0.344 9 L_5 + 0.051 31 L_5^2$  与  $y = 3.696 + 0.027 78 L_6 - 0.071 03 L_6^2$ 。马铃薯植株 SPAD<sub>2-3</sub> 在现蕾后 0 d、现蕾后 10 d 和现蕾后 20 d 均与块茎产量回归分析见图 1C,  $L_7$ 、 $L_8$ 、 $L_9$  与块茎产量拟合  $R^2 = 0.08$ 、 $0.62$ 、 $0.16$ , 拟合方程为  $y = 3.38 - 0.037 4 L_7 - 0.001 207 L_7^2$ 、 $y = 2.994 + 0.017 28 L_8 + 0.038 16 L_8^2$  与  $y = 2.997 - 0.004 283 L_9 + 0.029 73 L_9^2$ 。

### 3 讨 论

马铃薯单株结薯数、单个薯重是马铃薯块茎产量形成的重要因素。众多研究表明单株主茎数可有效提高单株结薯数, 从而提高产量<sup>[21-23]</sup>。播种至苗期干旱和低温冻害为冬马铃薯生产最主要的两大自然灾害, 低温干旱严重影响种薯出苗及幼苗生长, 进而影响马铃薯产量<sup>[24]</sup>。本研究表明在秸秆覆盖条件下‘布拖乌洋芋’主茎数较无秸秆覆盖处理降低 22.40%, 但块茎产量提高 6.43%; 其与前人研究结果有所差异, 这可能是由于在秸秆覆盖处理下秸秆腐解产生化感效应降低了马铃薯主茎的萌发与生长, 但覆盖秸秆释放的养分及其保水、保肥及稳定土壤温度的作用高效促进了马铃薯植株匍匐茎的发生以及块茎的膨大; 与此同时, 本研究进一步对植株匍匐茎发生节位进行分析表明, 秸秆覆盖处理下各处理植株在 1-2 与 2-3 节间的发生间距明显缩短, 且增加马铃薯匍匐茎的发生节位, 进一步表明秸秆覆盖能够通过优化主茎、匍匐茎的发生, 进而促进马铃薯块茎产量。

氮肥是提高作物产量的重要因素, 众多研究表明合理的氮肥施用能显著提高马铃薯产量, 而

氮肥供应不足或过高都会导致马铃薯植株生长不足或生长过旺, 影响马铃薯植株干物质积累与转运, 进而影响块茎产量形成<sup>[25-27]</sup>。本研究表明, 在无秸秆覆盖条件下, 随着施氮量的增加, 地上部鲜重增加, 这与前人结果一致<sup>[28,29]</sup>。与此同时, 在冬马铃薯生产过程中, 马铃薯生长后期由于气温的上升以及降雨量的逐渐增加显著促进马铃薯地上部植株生长, 而不合理氮肥施用会进一步导致马铃薯营养生长过盛, 源库失调, 导致产量降低<sup>[29]</sup>。在本试验中, 在无秸秆覆盖条件下, 随着施氮量的增加, 产量先增高后减少, 但在秸秆覆盖条件下, 不施氮肥处理与各施氮肥处理马铃薯块茎产量无显著差异, 这可能是由于在秸秆覆盖处理下, 秸秆腐解过程中所释放氮素能够满足植株生长, 进而保障产量的形成, 而过量的氮肥施用在一定程度上导致植株地上部生长与植株晚熟, 而冬薯生育后期由于温度等因素致使马铃薯地上部营养生长旺盛, 进而影响了冬薯产量的形成。

对作物叶片 SPAD 值的测定, 是目前判断植株氮素营养最常见的手段, 合理的调节植株叶片 SPAD 值, 能够实现氮肥利用效率、产量与品质等方面的提高<sup>[30-32]</sup>。本研究表明在秸秆覆盖处理下, 除在现蕾后 20 d 植株倒 1 叶 SPAD 值较无秸秆覆盖处理显著提高外, 在其他时期各叶片 SPAD 值均总体较无秸秆覆盖处理显著降低; 同时本研究对不同覆盖模式下各氮肥施用水平植株叶片 SPAD 值及叶片 SPAD 相对差值研究表明, 在现蕾后 0~20 d, 秸秆覆盖处理氮素施用处理下植株倒 1 叶、倒 2 叶与倒 3 叶 SPAD 值较无秸秆覆盖显著降低, 但各时期叶片 SPAD 变化幅度较无秸秆覆盖处理显著降低, 其中以秸秆覆盖不施氮处理最佳, 而 100 与 150 kg/hm<sup>2</sup> 处理次之, 其主要原因可能是由于秸秆的腐熟养分释放及保水保肥效应能够实现对马铃薯生长的养分供应, 而对于高氮肥施用处理还田秸秆也可能通过其腐解过程中微生物的生长在一定程度上吸附与固定施用氮素, 进而降低过度氮素施用导致植株地上部旺长的现象。

与此同时, 本研究进一步对现蕾后 0~20 d 植株叶片 SPAD 值及叶片 SPAD 相对差值与产量途径

及相关性分析表明, 现蕾后 20 d 植株倒 1 叶 SPAD 值与马铃薯块茎产量有极显著的正相关( $r = 0.69^{**}$ ), 且现蕾后 10 d 倒 1 叶 SPAD 值、现蕾后 20 d 倒 1 叶 SPAD 值和现蕾后 0 d 倒 3 叶 SPAD 值均表现为通过直接与间接的正效应影响产量, 而其他时期叶片 SPAD 值均表现为直接与间接的负效应影响产量。同时, 通径分析还表明现蕾后 10 d 倒 1 叶与倒 2 叶 SPAD、现蕾后 0 d 倒 2 叶与倒 3 叶 SPAD、现蕾后 20 d 倒 2 叶与倒 3 叶 SPAD 相对差值与产量均无直接或间接影响。此外, 本研究对现蕾后 0~20 d 马铃薯植株叶片 SPAD 相对差值与块茎产量回归分析还表明, 马铃薯块茎产量与现蕾后 0 和 20 d 植株倒 1 叶与倒 2 叶 SPAD 相对差值、现蕾后 0~20 d 植株叶片倒 1 叶与倒 3 叶 SPAD 相对差值、现蕾后 10 d 植株叶片倒 2 叶与倒 3 叶 SPAD 相对差值拟合度最优( $R^2 = 0.48\sim 0.62$ )。

秸秆覆盖能够有效协调马铃薯主茎数、茎粗与株高, 优化地上部植株形态构建, 促进地下部匍匐茎发生, 秸秆覆盖处理促进植株匍匐茎 1~2 与 2~3 节间的发生间距明显缩短, 且增加马铃薯匍匐茎的发生节位, 进而提高块茎产量形成, 较无秸秆覆盖处理块茎产量提高 6.43%。增加氮肥施用能够显著促进马铃薯主茎数、茎粗与现蕾期地上部干重, 但过高的氮肥施用显著提高马铃薯现蕾期倒 3 叶 SPAD 值, 致使植株营养源库失调, 进而产量降低, 但秸秆覆盖搭配 100 kg/hm<sup>2</sup>、150 kg/hm<sup>2</sup> 纯氮施用与不施氮处理产量无显著差异, 表明秸秆覆盖能够实现对马铃薯生长的养分供应及对外源施用氮素吸收利用, 进而保障块茎产量形成。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 田甲春, 胡新元, 田世龙, 等. 19 个品种马铃薯营养成分分析 [J]. 营养学报, 2017, 39(1): 102–104.
- [ 2 ] 崔阔澍, 王斌, 卢学兰. 四川马铃薯产业优势及发展思路 [J]. 中国农技推广, 2018, 34(4): 9–11.
- [ 3 ] Velthof G L, Oudendag D, Witzke H P, *et al.* Integrated assessment of nitrogen losses from agriculture in EU-27 using MITERRA-EUROPE [J]. Journal of Environment Quality, 2009, 38(2): 402–417.
- [ 4 ] 张开, 王立为, 高西宁, 等. 基于 DNDC 模型不同降水年型下氮肥管理对马铃薯田 N<sub>2</sub>O 减排及增产潜力影响研究 [J]. 生态环境学报, 2021, 30(8): 1672–1682.
- [ 5 ] 李军辉, 何永梅, 王迪轩. 马铃薯科学施肥及注意事项 [J]. 长江蔬菜, 2020(13): 69–71.
- [ 6 ] 李珺, 刘双全, 仇少君, 等. 不同施氮量对典型黑土马铃薯产量、养分吸收和氮素利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(4): 1–8.
- [ 7 ] 弓建国, 穆俊祥, 曹新民. 氮磷钾有机肥配合施用对马铃薯产量和品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(17): 7935–7937.
- [ 8 ] 田雁飞, 马友华, 胡园园, 等. 秸秆肥料化生产的现状、问题及发展前景 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 158–163.
- [ 9 ] 郭欣欣, 张蓉, 董禄信, 等. 不同秸秆覆盖量对土壤养分及马铃薯产量的影响 [J]. 农业科技与信息, 2021(17): 52–56.
- [ 10 ] 黄凯, 何万春, 权小兵, 等. 地面覆盖方式对马铃薯产量和水分利用效率的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(6): 4–7.
- [ 11 ] 霍铁珍, 丁春莲, 银花, 等. 不同材料覆盖对马铃薯田土壤水热状况及产量的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(1): 92–96.
- [ 12 ] 刘大伟, 陈婧, 司修洋, 等. 作物秸秆在植物病虫害防治中的应用 [J]. 北方园艺, 2021(4): 128–133.
- [ 13 ] 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.
- [ 14 ] 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, 2020, 28(6): 826–834.
- [ 15 ] 李玉梅, 李建兵, 胡颖慧, 等. 有机物料对马铃薯生长与土壤物理特性的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2021(4): 104–108.
- [ 16 ] Vos J, Bom M. Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage [J]. Potato Research, 1993, 36(4): 301–308.
- [ 17 ] Olivier M, Goffart J P, Ledent J F. Threshold value for chlorophyll meter as decision tool for nitrogen management of potato [J]. Semigroup Forum, 2006, 98(3): 496–506.
- [ 18 ] Zheng H L, Liu Y C, Qin Y L, *et al.* Establishing dynamic thresholds for potato nitrogen status diagnosis with the SPAD chlorophyll meter [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(1): 190–195.
- [ 19 ] Goffart J P, Oliver M, Frankinet M. Potato crop nitrogen status

- assessment to improve research, N fertilization management and efficiency: past-present-future [J]. Potato, 2008, 51: 355-383.
- [20] 向波. 水稻节间的弹性模量和拉伸强度极限及相关性状的研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2007.
- [21] 王清伟, 姜洪新, 刘训龙, 等. 不同颜色地膜对春播马铃薯生长发育的影响 [J]. 中国马铃薯, 2021, 35(6): 538-543.
- [22] 张宇新. 不同密度下切块与整薯播种对马铃薯产量和经济效益的影响 [D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2020.
- [23] Zhou W P. Interactive effects of temperature and moisture on composition of the soil microbial community [J]. European Journal of Soil Science, 2017, 68(6): 909-918.
- [24] 沈学善, 余显荣, 桑有顺, 等. 凉山州和成都平原冬春马铃薯低温冻害情况调查及应急管理措施 [J]. 四川农业科技, 2016(3): 8-9.
- [25] 何万春. 不同氮水平对覆膜马铃薯干物质积累和氮素吸收的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
- [26] 祁驰恒. 氮肥用量对马铃薯干物质积累及氮素运转的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [27] 李梦龙. 不同氮水平对覆膜马铃薯干物质积累、氮素吸收与利用及土壤矿质氮含量的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
- [28] 魏小静. 马铃薯氮肥最佳总量控制田间试验 [J]. 河北农业, 2021(1): 59-61.
- [29] 张海清. 施氮对马铃薯源库发育和块茎采后储藏特性的影响研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2021.
- [30] 杨海龙, 丁云杰, 蔡金洋. 早籼稻功能叶叶绿素含量变化及其与产量的关系 [J]. 江苏农业科学, 2022, 50(3): 99-104.
- [31] 陈友强, 杨洪泽, 孔繁阳, 等. 不同甜菜品种SPAD值与块根产量及含糖率的相关性 [J]. 新疆农业科学, 2021, 58(12): 2200-2207.
- [32] 黄影华, 张华杰, 陈秋玉, 等. 不同生育期水稻叶片SPAD值与产量相关性研究 [J]. 仲恺农业工程学院学报, 2021, 34(1): 1-7.

书

讯

现有《中国马铃薯》杂志 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 和 2021 年精装合订本, 中国马铃薯大会论文集 2011 年《马铃薯产业与科技扶贫》, 2012 年《马铃薯产业与水资源高效利用》, 2013 年《马铃薯产业与农村区域发展》, 2014 年《马铃薯产业与小康社会建设》, 2015 年《马铃薯产业与现代可持续农业》, 2016 年《马铃薯产业与中国式主食》, 2017 年《马铃薯产业与精准扶贫》, 2018 年《马铃薯产业与脱贫攻坚》, 2019 年《马铃薯产业与健康消费》, 2020 年《马铃薯产业与美丽乡村》和 2021 年《马铃薯产业与绿色发展》, 每本定价 100 元。有需要的读者, 可与《中国马铃薯》编辑部联系。

联系电话: 0451-55190003