

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2024)01-0091-06

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2024.01.013

## 氮素对马铃薯块茎形成的影响

王晶, 樊明寿, 贾立国, 秦永林, 于静\*, 王楠凌

(内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘要:** 氮肥是限制马铃薯高产关键因子之一。目前马铃薯生产上氮肥应用缺乏科学指导, 存在氮素供应过量、形态配比不合理、供应方式落后等问题, 制约马铃薯高产。综述聚焦氮素供应对块茎形成及发育的影响, 总结氮素对马铃薯匍匐茎发生、块茎形成时间、数量和重量的影响。低氮条件下有利于块茎提前发生, 但库强源弱, 匍匐茎发生率低, 块茎消亡发生率高, 单株薯数和薯重下降; 氮供应过量则抑制匍匐茎发育, 推迟块茎形成时间, 块茎数量和重量随之降低; 供应适宜氮素有利于高产, 究其原因, 匍匐茎顶端提前膨大形成块茎, 块茎消亡发生率降低, 块茎单株薯数和单株薯重增加。前人围绕合理供氮量对马铃薯块茎发育的调控做了大量研究, 但因产地气候、土壤理化性质、主栽品种及生产目的不同, 上述阈值不尽相同, 仍有待于进一步探究。

**关键词:** 马铃薯; 氮素; 块茎形成; 产量

## Effect of Nitrogen on Tuber Formation of Potato

WANG Jing, FAN Mingshou, JIA Ligu, QIN Yonglin, YU Jing\*, WANG Nanling

(College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

**Abstract:** Nitrogen fertilizer is one of the key factors limiting the high yield of potato. At present, the application of nitrogen fertilizer in potato production lacks scientific guidance, and there are widespread phenomena such as excessive nitrogen supply, unreasonable form combination and backward supply mode, which seriously restrict the high yield and efficient production of potato. In this review, the effects of nitrogen supply on tuber formation and development were discussed, and the effects of nitrogen on the initiation of potato stolons, the formation time, quantity and weight of tuber were summarized. Under low nitrogen conditions, tuber initiates early, but the sink is strong and the source is weak, leading to low incidence of stolon, high incidence of tuber death, and low number and weight of potato tuber per plant. Excessive nitrogen supply inhibits the development of stolons, delays the formation time of tubers, and reduces the number and weight of tubers. The supply of suitable nitrogen is conducive to the formation of high yield. The reasons may be that the tip of stolons expands early to form tubers, the incidence of tuber death is low, and the number and weight of tubers per plant increases. Previous researchers have done a lot of work on the regulation of potato tuber

收稿日期: 2023-12-21

基金项目: 国家自然科学基金(31960637); 内蒙古直属高校基本科研项目(BR22-13-01); 内蒙古自然科学基金(2021MS03056; 2019CG030); 内蒙古农业大学品种选育专项(YZGC2017007); 校企合作项目(RH2300000994)。

作者简介: 王晶(1999-), 女, 硕士研究生, 主要从事马铃薯营养与施肥研究。

\*通信作者(Corresponding author): 于静, 博士, 讲师, 主要从事马铃薯营养生理与养分管理研究, E-mail: jingyuhappyday@163.com。

development regarding reasonable nitrogen supply, but due to different climatic factors, soil physicochemical properties, main varieties and production purposes, the threshold values are different either. These remain to be further explored.

**Key Words:** potato; nitrogen; tuber formation; yield

马铃薯因具有生育期短、适应性强、产量高、块茎富含营养等优点, 成为仅次于水稻、小麦、玉米的世界第四大粮食作物<sup>[1]</sup>, 在粮食安全和社会经济发展中发挥重要作用<sup>[2]</sup>。块茎是马铃薯的经济器官, 其形成时间、数量及重量是决定产量高低的重要因素。匍匐茎的发生是马铃薯形成块茎必备条件, 其发生的位置、发生时间、数量、生长状况等多种因素共同调控块茎的生长发育, 进而影响马铃薯产量。氮素是马铃薯生产中主要限制因子之一, 氮素投入量与产量呈相关性<sup>[3]</sup>, 马铃薯块茎产量每增加 1 t, 土壤中 4.5~6.0 kg 的氮素将会被马铃薯吸收, 适宜的氮素促使块茎提早形成, 加快光合产物向块茎运转, 促进高产<sup>[4]</sup>。氮素供应过量, 使叶片叶绿素含量和叶面积指数较高, 茎叶生长旺盛, 干物质地上地下分配比例失调, 块茎产量难以提高。低氮水平时生长中心过早由茎叶转至块茎中, 库强源弱为高产限制因子<sup>[5,6]</sup>。因此, 通过氮素供应调控块茎生长发育是获得高产的有效途径之一。目前, 大量研究集中在氮素营养提高产量及肥料利用率上, 缺少氮素形态与氮素数量及施肥时间的研究。因此, 明确氮素对块茎形成的影响对合理调控施氮时间、数量及选用不同氮素形态具有重要意义。

## 1 氮素供应对马铃薯匍匐茎的影响

匍匐茎的发生决定块茎数量和大小, 也是块茎发育的直接运输器官。全生育期地下茎节上均可发生匍匐茎, 幼苗期地上部生长速率较快, 地下部开始发生匍匐茎, 二者共同竞争叶片光合产物, 匍匐茎尖端无法膨大成为块茎<sup>[7]</sup>。随着地上部生长速度变慢, 竞争关系逐渐缓和, 块茎开始形成。全生育期内植株结薯率呈“S”形曲线变化, 生长过程中发生的匍匐茎越多, 形成块茎越多。研究发现生育前期发生的匍匐茎对产量贡献

较大, 出苗 60 d 后形成的匍匐茎膨大形成块茎概率较低<sup>[8]</sup>。匍匐茎膨大形成块茎的成薯率约 50%~70%<sup>[9]</sup>。此外, 匍匐茎因叶片数增多而减少, 此时应供应适宜养分促进匍匐茎生长<sup>[10]</sup>。尿素作为常用氮肥, 具有促进马铃薯地上器官生长作用, 生育中后期过多施用尿素则减缓结薯速率<sup>[11]</sup>, 降低光合产能积累, 抑制匍匐茎及块茎发育<sup>[12]</sup>。但生育前期施用尿素可显著提高早熟马铃薯匍匐茎数量<sup>[13]</sup>。然而, 在促进匍匐茎发生和产量形成上尿素并非理想的氮肥来源。研究发现, 块茎形成初期基施硝酸钙和硫酸铵, 总匍匐茎数量显著高于基施尿素, 进一步探究发现硝酸钙有利于促进匍匐茎形成, 硫酸铵则有利于匍匐茎顶端膨大<sup>[14,15]</sup>。国外学者也认为硝态氮对马铃薯匍匐茎的生长有促进作用<sup>[16]</sup>, 在大田试验中设置不同氮素形态及施用时期, 发现马铃薯块茎形成期的全硝态氮营养有利于增加匍匐茎数量<sup>[17]</sup>。除氮素形态外, 氮素投入量也是决定匍匐茎发生和膨大的重要因子之一。氮素供应不足影响地上部光合器官构建, 光合产物输出不够, 降低匍匐茎发生率, 水平产量下降。而过量氮素投入导致茎叶徒长, 养分分配不均衡, 块茎形成时间相对推后, 降低匍匐茎成薯率<sup>[18]</sup>。

## 2 氮素供应对马铃薯块茎形成时间的影响

马铃薯块茎的形成时间对干物质积累量有重要影响, 干物质积累量是产量形成的物质基础, 因此越早形成的块茎对产量贡献越大。其中氮素对马铃薯块茎的形成时间至关重要, 氮素过多使匍匐茎伸长生长, 但推迟匍匐茎尖端膨大, 进而抑制块茎形成<sup>[19,20]</sup>。国外学者认为, 施氮量高的植株生育迟缓, 结薯偏晚, 影响同化产物向块茎中积累, 导致产量降低。盆栽试验证实与适宜氮素供应相比, 低氮有利于块茎提前发生, 缩短块茎

形成持续时间4~10 d, 而高氮则推迟块茎发生, 延长块茎形成持续时间<sup>[21]</sup>。若除去马铃薯植株生长中的氮素供应, 则加速块茎形成进程<sup>[22]</sup>。与室内试验结果相同, 大田环境下适当减少氮素供应同样有利于块茎形成, 过量施氮推迟块茎形成7~10 d<sup>[23]</sup>, 但未量化氮素供应对马铃薯块茎形成时间的影响。在内蒙古自治区阴山北麓马铃薯主产区的研究证实<sup>[24]</sup>, 随土壤矿质氮(N<sub>min</sub>)值增大, 马铃薯块茎形成时间向后推移。量化土壤N<sub>min</sub>值与块茎形成时间的关系即土壤N<sub>min</sub>每增加10个单位, 马铃薯块茎形成推迟1.3 d, 确定块茎形成期土壤N<sub>min</sub> > 39.29 mg/kg这一阈值时抑制块茎形成。上述临界值受产区土壤理化性质、马铃薯品种、播期等多种因素影响。另外, 氮素形态不同, 结薯时间随之变化。胡云海和蒋先明<sup>[25]</sup>研究表明当总氮浓度在30~40 mmol/L时, 成薯指数较高, 降低NO<sub>3</sub>-N:NH<sub>4</sub>-N, 有利于微型薯提早形成。苏亚拉其其格等<sup>[15]</sup>进一步研究发现, 在块茎形成前供应NH<sub>4</sub>-N处理马铃薯块茎形成时间早于供应NO<sub>3</sub>-N处理, 三年均表现一致。

### 3 氮素供应对马铃薯块茎形成数量的影响

马铃薯植株出苗后20 d左右块茎开始形成, 出苗后30 d左右进入块茎形成期, 此段时间形成的块茎数占收获期块茎总数85%~105%<sup>[26]</sup>, 生育后期形成块茎数占比很小。但块茎数目并不随生育期的推进而持续增加, 即并非所有匍匐茎尖端膨大后均发育为成薯, 其中10%~30%的块茎中途消亡而不能继续发育成块茎<sup>[27,28]</sup>。块茎消亡原因可能与养分供应尤其是氮素供应有关<sup>[29]</sup>。研究发现氮肥施用量影响块茎个数, 随氮肥施用总量增加, 单株块茎数随施氮量增加呈先增后降趋势, 当施氮量为150 kg/hm<sup>2</sup>时达最高产量<sup>[30]</sup>, 而施入38 kg/hm<sup>2</sup>启动氮作基肥, 在苗期和中耕时分两次共追施235 kg/hm<sup>2</sup>氮肥, 获得62 t/hm<sup>2</sup>的高产<sup>[31]</sup>, 即并非施用越多氮肥马铃薯块茎数量越多。有研究表明当土壤N<sub>min</sub>含量介于18.79~31.83 mg/kg, 马铃薯单株平均结薯个数达4个以上, 该值大于39.90 mg/kg时, 抑制块茎形成, 土壤N<sub>min</sub>值超过51.14 mg/kg时,

马铃薯不结薯<sup>[32]</sup>。此外, 块茎数量也受氮肥施用方式影响。与高基施量相比, 低氮肥基施处理结薯个数显著增加。在块茎形成期后无追氮处理块茎数量不再增加。与无追氮处理相比, 氮肥追施有利于提高大、中等级块茎数及总块茎数<sup>[33]</sup>。追氮处理的植株平均约50%出现块茎消亡现象, 缺氮处理的植株块茎消亡率达85%, 单株内消亡块茎占比分别为10%和25%<sup>[34]</sup>。此外, 追施氮肥后块茎消亡的群体发生率及单株发生率均下降。这可能是后期补充氮素供应降低了消亡比例<sup>[30]</sup>。

氮素供应形态是决定块茎数量重要因子之一。块茎形成过程与匍匐茎生长发育密切相关, 在室内研究发现降低培养基中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:NH<sub>4</sub><sup>+</sup>值, 试管苗形成微型薯数量和直径均减小。沙培条件下(总氮浓度为3 mmol/L), 与NH<sub>4</sub>-N处理相比, NO<sub>3</sub>-N处理的匍匐茎数量和长度显著增加, 且提早形成块茎, 数量相对较多<sup>[35]</sup>。单株结薯数量受生育前期供应的氮素形态影响(表1)<sup>[15]</sup>, 前期供应NO<sub>3</sub>-N的植株结薯数量显著高于NH<sub>4</sub>-N处理, 而块茎形成后供应的氮素形态对最终结薯数量无影响。

### 4 氮素供应对马铃薯块茎重量的影响

氮素作为叶绿素和多种激素的组成成分, 在二氧化碳同化过程中具有重要作用。全生育期马铃薯植株约95%能量及块茎中90%干物质积累均来自于光合作用的碳同化。氮素对块茎重量的调控主要通过对于干物质积累和分配得以实现<sup>[36]</sup>。因此, 在生产上可通过调整氮肥管理措施来提高马铃薯产量。Sharma和Arora<sup>[37]</sup>研究氮肥对马铃薯产量作用发现, 氮肥增施显著增加中薯和大薯的产量从而提高商品薯率。进一步研究发现, 全生育期内施用氮肥显著提升块茎膨大期持续时间和膨大速率, 调控块茎级别分布<sup>[38]</sup>。氮素供应数量与块茎重量呈正相关, 在一定范围内块茎重量随供氮量增加而增加, 但超出某一临界值后产量则随之下降, 块茎大薯率与施氮量也呈相似关系。当施氮量介于60~210 kg/hm<sup>2</sup>时, 马铃薯产量呈递增趋势, 大薯率随之增加; 当施氮量超过210 kg/hm<sup>2</sup>时, 大薯率降低, 产量开始下降<sup>[39]</sup>。相比于高氮处

表1 氮素形态供应时期对马铃薯收获时块茎数量的影响

Table 1 Effect of source and time of nitrogen application on the number of tubers during potato harvest

年份 Year	品种 Variety	块茎形成前氮素供应形态 N source before tuberization	块茎形成后氮素供应形态 N source after tuberization	单株结薯数(个) Tuber number per plant (No.)	单株薯重(g) Tuber weight per plant
2013	克新1号	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.66a	118.88d
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.33a	143.04a
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.83b	126.70c
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.83b	134.72b
2014	克新1号	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.33ab	139.08d
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	4.50a	167.15a
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.33ab	147.73c
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2.50b	155.96b
	费乌瑞它	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.00ab	99.19d
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2.80a	132.89a
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.20ab	107.61c
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.33b	120.79b

注: 数值后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。

Note: Different lowercase letters following the value indicate significant differences at the 0.05 level.

理, 低氮处理提高了块茎干物质分配比例, 过量施氮延缓块茎发育。施氮阈值介于 200~450 kg/hm<sup>2</sup>, 且因产地土壤、气候及种植品种不同而异<sup>[40,41]</sup>。沙培条件下同样存在相同规律, 20 mmol/L 高氮处理的马铃薯单株薯重、块茎干物质分配比均显著低于 10 mmol/L 低氮处理<sup>[42]</sup>。此外, 除氮素供应量外, 还应充分考虑氮素形态对块茎形成的影响。不同作物生长发育对不同形态氮素供应响应不同, 作物在不同生育阶段对氮素形态偏好也不同<sup>[43]</sup>。盆栽试验中利用不同铵硝氮肥配比探究其对块茎干物质积累量及产量的影响, 发现设置 6 种不同铵硝配比下较不施肥处理的干物质质量和产量均增高, 但各处理间差异均不显著<sup>[44]</sup>。但大田试验配施不同比例硫酸铵和硝酸钙, 均有利于提高干物质质量和产量。孙磊等<sup>[45]</sup>研究表明基肥施用硫酸铵增产效果更明显。张美琴<sup>[46]</sup>则表明施用硝态氮肥效果最好, 可获得较高的马铃薯块茎产量, 产量比不施氮处理高 102.69%。氮素形态对马铃薯生长发育影响差异较大。许丽<sup>[47]</sup>、李雅楠<sup>[48]</sup>、焦峰等<sup>[49]</sup>、苟久兰等<sup>[50]</sup>认为同一氮素水平管理下, 铵态

氮肥可显著提高马铃薯植株干物质质量和产量。张伟<sup>[51]</sup>研究则表明, 在生长前期施用硝态氮对马铃薯光合作用的效果好于铵态氮。Davis 等<sup>[52]</sup>认为马铃薯是喜硝作物。还有一种观点认为在马铃薯生长不同阶段需要不同形态氮源<sup>[53]</sup>。在马铃薯块茎形成前供应不同形态氮源, 供应不同 NO<sub>3</sub>-N 与 NH<sub>4</sub>-N 浓度, 块茎形成前供应 NO<sub>3</sub>-N 或 NH<sub>4</sub>-N 对马铃薯最后收获时的单株薯数与薯重有显著影响。其中, NO<sub>3</sub>-N 处理显著高于 NH<sub>4</sub>-N, 而块茎形成后供应 NO<sub>3</sub>-N 或 NH<sub>4</sub>-N 对单株薯数或薯重均无显著影响, 后期供应 NH<sub>4</sub>-N 的单株块茎重显著大于后期供应 NO<sub>3</sub>-N 处理<sup>[54]</sup>。因此, 马铃薯块茎重量受氮肥供应形态、数量、施用时间等多重因素共同调控。

## 5 结 语

近些年来马铃薯不断提高产量, 多以投入高水肥为代价。马铃薯生产上氮素供应数量过量、形态配伍不合理、供应方式落后等现象普遍存在, 氮肥应用仍缺乏科学指导。本文综合前人研

究结果,总结了氮素供应对马铃薯块茎形成的影响,氮肥供应数量、形态配伍、施入方式等多种因素共同调控构成块茎生长发育与产量。前人围绕合理供氮量对马铃薯块茎发育调控做了大量研究<sup>[55-57]</sup>,但因产地气候、土壤理化性质、主栽品种及生产目的不同,上述阈值不尽相同<sup>[58]</sup>,仍有待于进一步探究。未来可根据马铃薯生长阶段来匹配氮肥数量、形态及施用方式,进一步提高马铃薯产量及肥料利用效率,从而进行科学的施肥管理。马铃薯块茎的形成受多方介导,温度、日照长度、土壤pH、内源激素<sup>[59]</sup>及各种碳水化合物等多种途径影响,因此,有效结合内在因素与外在因素是研究马铃薯块茎发育的必经途径,也是揭示马铃薯块茎形成机理的必要环节。

#### [参 考 文 献]

- [1] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议 [J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2015(3): 1-7.
- [2] 李文娟, 秦军红, 谷建苗, 等. 从世界马铃薯产业发展谈中国马铃薯的主粮化 [J]. 中国食物与营养, 2015, 21(7): 5-9.
- [3] 任亚新. 分期施氮对马铃薯氮积累与分配的影响 [J]. 世界热带农业信息, 2023(4): 16-18.
- [4] 樊明寿, 贾立国, 秦永林, 等. 马铃薯丰产高效栽培的养分管理 [C]//屈冬玉, 陈伊里. 马铃薯产业与精准扶贫. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2017: 329-334.
- [5] 岳超, 肖石江, 王怀义, 等. 氮肥用量对不同冬马铃薯品种产量及氮肥利用率的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019(2): 119-125, 132.
- [6] Yerbol T, Nurmanov, Valentina G, *et al.* Potato in response to nitrogen nutrition regime and nitrogen fertilization [J]. *Field Crops Research*, 2019, 231(1): 115-121.
- [7] Kolomiets M V, Hannapel D J, Chen H, *et al.* Lipoygenase is involved in the control of potato tuber development [J]. *The Plant Cell*, 2001, 13: 613-626.
- [8] 张桂芝. 马铃薯糖代谢对匍匐茎发生与块茎形成的影响 [D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2016.
- [9] 刘克礼, 高聚林, 张宝林. 马铃薯匍匐茎与块茎建成规律的研究 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17(3): 151-156.
- [10] 冷冰, 袁继平, 胡成来, 等. 马铃薯块茎形成的研究进展 [J]. 广东农业科学, 2010, 37(6): 27-29, 32.
- [11] 张云杰, 张森, 段学东. 马铃薯需肥规律及高效施肥技术 [J]. 河南农业, 2022(35): 22-24.
- [12] 王翠松, 张红梅, 李云峰. 马铃薯块茎发育过程中的影响因子 [J]. 中国马铃薯, 2013, 27(1): 29-33.
- [13] 雷尊国, 黄团, 邓宽平, 等. 不同肥料及施肥方式对马铃薯繁殖匍匐茎、块茎形态建成的影响研究 [J]. 种子, 2013, 32(2): 78-81.
- [14] 高媛. 氮素形态及pH对马铃薯块茎生长的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [15] 苏亚拉其其格, 秦永林, 贾立国, 等. 氮素形态及供应时期对马铃薯生长发育与产量的影响 [J]. 作物学报, 2016, 42(4): 619-623.
- [16] Qsaki M, Shirai J, Shinano T, *et al.* Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1995, 41(4): 709-719.
- [17] 唐铭霞, 王克秀, 胡建军, 等. 不同氮素形态比对雾培马铃薯生长和原原种产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018(3): 20-25.
- [18] 王迎男. 不同氮素供应水平对马铃薯植株碳氮比及块茎形成的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [19] Westermann D T, Kleinkop P G E. Nitrogen requirements of potatoes [J]. *Agronomy Journal*, 1985, 77: 616-621.
- [20] Moorby J, Milthorpe F L. Potato [M]//Evans L T. *Crop physiology: some case histories*. Cambridge: Cambridge University Press, 1975: 225-257.
- [21] 孟丽丽. 马铃薯块茎形成机制及其对品种与氮素的响应 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- [22] Sattelmacher B, Marschner H. Tuberization in potato plants as affected by applications of nitrogen to the roots and leaves [J]. *Potato Research*, 1979, 22: 49-57.
- [23] Kleinkopf G E, Westermann D T, Dwelle R B. Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars [J]. *Agronomy Journal*, 1981, 73: 799-802.
- [24] 敖孟奇, 秦永林, 陈杨, 等. 农田土壤Nmin对马铃薯块茎形成的影响 [J]. 中国马铃薯, 2013, 27(5): 302-305.
- [25] 胡云海, 蒋先明. 氮源对马铃薯微型薯的影响 [J]. 中国马铃薯, 1991, 5(4): 199-203, 238.
- [26] 王弘, 孙磊, 梁杰, 等. 氮肥基追比例及追施时期对马铃薯干物质积累分配及产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30(24): 224-230.

- [27] Iranbakhsh A, Ebadi M. The ontogenetic trends of microtuber formation in potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2007, 10(6): 843–851.
- [28] 朱勇臣, 王海燕, 李成虎. 氮肥不同施用量对马铃薯产量的影响研究 [J]. 中国农技推广, 2011, 27(4): 38–39.
- [29] 郝凯, 贾立国, 秦永林, 等. 氮素对马铃薯源-库关系影响研究进展 [J]. 作物杂志, 2020(3): 22–26.
- [30] 王梓全, 姜丽丽, 龚振平. 氮肥对炸条型马铃薯产量的影响及氮肥营养诊断指标的建立 [J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(7): 19–25.
- [31] 谷浏涟, 孙磊, 石瑛, 等. 氮肥施用时期对马铃薯干物质积累转运及产量的影响 [J]. 土壤, 2013, 45(4): 610–615.
- [32] 敖孟奇. 氮素供应数量对马铃薯块茎形成的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [33] 郝凯. 氮素供应对马铃薯块茎消长的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [34] 贾立国, 郝凯, 樊明寿. 马铃薯块茎消亡规律及其氮素调控机制 [C]//中国作物学会马铃薯专业委员会. 马铃薯产业与种业创新. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2023: 276–277.
- [35] Gao Y, Jia L, Hu B, *et al.* Potato stolon and tuber growth influenced by nitrogen form [J]. Plant Production Science, 2014, 17(2): 138–143.
- [36] 何昌福, 张健, 邱慧珍, 等. 不同氮水平对旱地覆膜马铃薯‘青薯9号’干物质积累分配及产量的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(2): 19–26.
- [37] Sharma U C, Arora B R. 施氮磷钾对马铃薯块茎产量的影响 [J]. 中国马铃薯, 1989, 3(2): 122–128.
- [38] 焦峰. 马铃薯氮素吸收分配特性及高效利用生理机制研究 [D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2012.
- [39] 丁海兵, 雷尊国. 不同施肥水平对马铃薯农艺性状及产量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2008(28): 12338–12339.
- [40] Finckh M R, Schulte-Geldermann E, Bruns C. Challenges to organic potato farming: Disease and nutrient management [J]. Potato Research, 2006, 49(1): 27–42.
- [41] 修凤英, 朱丽丽, 李井会. 不同施氮量对马铃薯氮素利用特性的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2009(3): 36–38.
- [42] 苏亚拉其其格, 樊明寿. 氮素形态对马铃薯块茎形成的影响及机理 [J]. 土壤通报, 2015, 46(2): 509–512.
- [43] Suyala Qiqige, Jia L, Qin Y, *et al.* Effects of different nitrogen forms on potato growth and development [J]. Journal of Plant Nutrition, 2017, 40(11): 1651–1659.
- [44] 邓兰生, 齐庆振, 龚林, 等. 滴施不同铵硝比例氮肥对马铃薯生长的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2011(4): 13–16.
- [45] 孙磊, 郝枫, 张亮, 等. 不同氮肥配施对马铃薯块茎形成及发育的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2018, 49(6): 32–39.
- [46] 张美琴. 氮素形态与马铃薯品质的关系 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [47] 许丽. 氮素形态及氮磷钾配比对春、秋马铃薯养分积累及产量构成的影响 [D]. 成都: 四川农业大学, 2016.
- [48] 李雅楠. 不同比例的 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 对马铃薯生长及块茎发育的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [49] 焦峰, 王鹏, 翟瑞常. 氮肥形态对马铃薯氮素积累与分配的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2012(2): 39–44.
- [50] 苟久兰, 孙锐锋, 何佳芳, 等. 种植模式和氮肥形态对威芋3号马铃薯产量及品质的影响 [J]. 中国马铃薯, 2011, 25(1): 36–41.
- [51] 张伟. 不同形态氮素及苗期补水对旱地马铃薯生长和产量的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [52] Davis J M, Loescher W H, Hammon M W, *et al.* Response of potatoes to nitrogen form and to change in nitrogen form at tuber initiation [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1986, 111: 70–72.
- [53] Stevenson F J. Nitrogen in agricultural soils [M]. Madison Wisconsin: American Society of Agronomy, 1982.
- [54] 苏亚拉其其格, 敖云格日勒, 贾立国, 等. 氮素形态及其浓度供应影响马铃薯块茎形成的生理机制研究 [J]. 土壤通报, 2020, 51(6): 1430–1436.
- [55] 李利. 不同施氮量对马铃薯氮素吸收、积累及利用的影响 [J]. 山西农业科学, 2012, 40(12): 1292–1295.
- [56] 王芳, 姚彬, 黄成东, 等. 马铃薯养分需求及营养调控研究进展 [J]. 中国马铃薯, 2023, 37(4): 353–359.
- [57] 宫占元, 焦峰. 不同氮水平对马铃薯干物质积累和产量的影响 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2012, 24(4): 1–3, 10.
- [58] Meena P B, Kumar A, Dotaniya L M, *et al.* Effect of organic sources of nutrients on tuber bulking rate, grades and specific gravity of potato tubers [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 2016, 86(1): 47–53.
- [59] 佚名. 云南大学黄斌全团队揭示马铃薯块茎形成新机制 [J]. 湖北农业科学, 2023, 62(12): 258.