

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2021)05-0469-05

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.05.012

氮肥效率的评价及其在马铃薯上的研究进展

刘紫佳, 于 静, 樊明寿, 贾立国*

(内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘 要: 氮在马铃薯生长发育过程中起着至关重要作用, 氮肥的施用直接影响到马铃薯块茎的产量和品质。不同基因型马铃薯对氮肥的吸收、利用效率有显著差异。就氮效率的评价方法进行归纳, 在对马铃薯氮素需求基础上, 综述了马铃薯氮素效率评价方法的研究进展并进行展望, 以为不同氮效率基因型马铃薯的进一步研究和合理施用氮肥提供参考。

关键词: 马铃薯; 基因型; 氮效率; 氮素吸收效率; 氮素利用效率

Evaluation of Nitrogen Fertilizer Efficiency and Its Research Progress in Potato

LIU Zijia, YU Jing, FAN Mingshou, JIA Liguo*

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

Abstract: Nitrogen plays a vital role in the process of potato growth and development. The application of nitrogen fertilizer directly affects the yield and quality of potato tubers. The uptake and utilization efficiency of nitrogen fertilizer for different genotypes of potatoes are significantly different. The evaluation methods of nitrogen efficiency were summarized. Based on the nitrogen demand of potato, the research progress in potato nitrogen efficiency evaluation methods was reviewed and prospected, in order to provide references for the further research of the different nitrogen efficiency genotypes of potatoes and the rational application of nitrogen fertilizer.

Key Words: potato; genotype; nitrogen efficiency; nitrogen uptake efficiency; nitrogen utilization efficiency

中国是世界最大的马铃薯生产国, 马铃薯在保障国家粮食安全和服务社会经济等方面具有重要战略作用。为确保粮食安全, 2015年国家提出马铃薯主粮化战略, 马铃薯与水稻、玉米、小麦一起成为中国四大粮食作物。

氮肥是作物生长发育的必需大量元素, 在作物产量形成中扮演至关重要的角色。早在1994年, Borlang博士就曾断言, 全世界作物产量增加50%的

原因归功于化肥的施用, 而氮肥的贡献率占其中的一半以上^[1]。合理施用氮肥不仅可以提高马铃薯产量和经济效益, 还可以减少环境污染的风险。近年来由于施肥不当, 中国作物氮肥吸收利用率只有30%~35%^[2]。秦永林等^[3]对内蒙古自治区马铃薯施肥状况调查时发现, 大部分农户肥料用量不合理, 施氮合理的农户仅为32.7%。施肥不合理是限制当地马铃薯生产的主要因素之一^[4]。氮肥长期不合理施用使得

收稿日期: 2021-09-23

基金项目: 内蒙古自治区科技重大专项(2020ZD0005, 2021SZD0005); 国家自然科学基金(3216150149); 内蒙古自治区高等学校科学技术研究项目(NJZY21220)。

作者简介: 刘紫佳(1996-), 女, 硕士研究生, 从事植物营养生理研究。

*通信作者(Corresponding author): 贾立国, 副教授, 主要从事马铃薯水分及营养生理研究, E-mail: nndjialiguo@163.com。

营养元素大量累积, 导致土壤溶液盐分浓度和渗透压的增加, 加重次生盐渍化, 还致使土壤养分的失衡和酸化, 严重威胁农田生态安全^[5]。

因此, 如何提高作物氮素利用率引起社会和相关学者的广泛关注。提高氮素利用率的途径主要有两种: 一是改进栽培措施, 例如合理群体结构构建、配方施肥、水肥一体化、新型肥料的应用等; 二是筛选氮高效的品种^[6]。不同作物在养分的吸收和利用方面存在差异, 同一作物不同基因型在养分的吸收和利用方面也差异显著, 从而导致氮素利用效率存在较大差异。这一结论在水稻^[7,8]、玉米^[9]、小麦^[10,11]等作物上已经得到证实。氮高效基因型马铃薯能够在较低的氮水平下获得较多的块茎干物质, 提高氮利用效率可以有效地缓解马铃薯产量与环境污染之间的矛盾^[12,13]。但是, 关于氮肥效率的评价方法有不同的报道, 建立科学一致的评价方法对品种和栽培技术对氮效率的贡献评价至关重要。

1 氮对马铃薯生长的影响

1.1 马铃薯氮素需求特征

要提高马铃薯的氮肥利用效率, 首先要了解马铃薯的氮肥需求特征。在一定的氮肥用量范围内, 氮素能够促进马铃薯营养器官的建成, 增施氮肥可以增加马铃薯块茎的产量。且氮与植株光合作用密切相关, 可协调马铃薯茎叶生长和块茎生长矛盾^[14]。氮素供应不足时, 马铃薯植株矮小, 块茎比重下降, 过量施用氮肥会推迟块茎的形成时间^[15]。这说明并不是施氮越多越好, 而是有一个适宜的范围。

施氮量的增加能促进马铃薯养分的吸收, 提高马铃薯产量和品质, 但达到一定水平, 养分吸收下降^[16]。当施氮量在0~180 kg/hm²时, 马铃薯块茎干物重和植株干物重随施氮量的增加显著增加, 而且植株含氮量也随之增加^[17]。氮肥可以促进马铃薯叶片叶绿素的合成^[18], SPAD值与叶绿素含量都与单株产量呈现正相关关系^[19]。张伟等^[20]发现马铃薯植株的株高、叶长在施氮量为360 kg/hm²时达到最大, 但是产量却显著低于180 kg/hm²处理下的产量, 马铃薯植株养分吸收并不会全部转化为块茎产量。氮肥过量施入, 马铃薯植株太高、叶长徒长, 氮素累积

量向块茎转化减少, 产量降低^[21]。因此, 合理施氮对马铃薯增产至关重要。

中国不同栽培模式下每生产1 000 kg马铃薯块茎需要吸收氮4.5~6.0 kg^[15]。不同土地类型、不同马铃薯品种所需要的氮肥有所差别: 典型的黑土地种植马铃薯品种‘延薯4号’, 生产1 000 kg块茎需要氮养分4.6 kg^[22]; 在褐土、中壤地区种植‘克新1号’, 生产1 000 kg块茎需要吸收氮5.6 kg^[23]; 在内蒙古自治区西部的平原冲积土上种植‘同薯8号’, 生产1 000 kg块茎氮素吸收量为4.4 kg^[24]。因此, 合理施肥要根据马铃薯的品种特性而定。

1.2 氮肥施用对马铃薯生产的影响

在实际生产中, 中国普遍粗放的氮肥管理措施加上缺乏科学的理论指导, 导致作物基因型并不能充分发挥其产量优势。氮肥对马铃薯块茎的产量贡献比较大^[25,26], 进行科学的氮肥运筹不仅会降低成本、减少环境污染的风险, 而且会提高产量和经济效益。

根据马铃薯植株生育期的规律, 苗期植株对氮的需求较少, 块茎形成期和块茎膨大期所吸收的氮素占需求量的80%左右。淀粉积累期和收获期植株对氮的需求逐渐减少^[27]。向竹清等^[28]发现, 在适宜的施氮水平上, 80%氮肥基施加上20%氮肥追施能够显著提高马铃薯的氮肥利用率和块茎产量。王祥植等^[29]发现, 分2~3次追氮处理产量较1次追氮处理提高了20.75%和17.80%。可见, 根据马铃薯植株需氮规律进行分次追施氮肥提高块茎产量是可行的。

2 氮效率评价方法的研究进展

对氮效率并没有进行统一的定义, 普遍认为氮效率可以分为氮素吸收效率和氮素利用效率两部分。目前, 很多研究者都应用Moll等^[30]对氮素吸收效率和氮素利用效率的定义。根据Moll等^[30]对氮效率的定义, 氮效率指标间存在以下关系:

氮吸收效率 = 植株总吸氮量/供氮量

氮利用效率 = 产量/植株总吸氮量

氮效率 = 产量/供氮量

由此可知, 氮效率是氮吸收效率和氮利用效率互作的结果, 科学的筛选氮效率的方法要兼顾氮素吸收效率和氮素利用效率。王晓婧等^[31]研究发现,

不同基因型小麦的氮素利用率在不同氮水平下有不同的实现途径, 有的品种因为较高的氮素吸收效率导致氮素利用效率较高, 而有的品种则是依赖较高的氮素利用效率实现氮的高效利用, 这就导致了同一作物不同基因型间对氮素吸收利用的差异。黄元炯等^[32]基于 Moll 等^[30]氮效率的定义, 用单株叶重量/供氮量表示烤烟的氮效率: 低氮条件下, 氮效率高的基因型具有较强的耐低氮特性; 高氮条件下, 氮效率高的基因型具有耐高氮的特性。将低氮与中氮、低氮与高氮、中氮与高氮处理下的单株叶重量的比值作为氮素反应指数, 氮素反应指数与烟株耐低氮能力成正比, 即低氮水平下, 单株叶重量大, 该基因型烟株耐低氮能力强。基于不同基因型在三个或以上氮水平提出, 氮素供应水平和基因型之间的差异是导致氮素吸收效率的差异。在缺氮和正常供氮条件下, 孙传范等^[33]发现小麦品种对氮利用效率指标的影响随环境而变化, 相同氮水平下吸收效率受环境影响较小, 不同基因型间存在着较大的差异。童依平等^[34]研究表明, 低氮条件下, 产量的形成是氮素的吸收和利用效率共同作用的结果, 而高氮条件下氮素的吸收效率影响产量形成。由此可见, 在两种氮水平下也可以对不同基因型的氮效率差异进行比较。

在评价氮效率时, 对不同作物设置的氮水平和生育时期也要考虑其中。陈二影等^[35]经研究发现, 谷子苗期以氮素吸收效率为主, 在两种氮水平下, 氮吸收效率和氮利用效率可作为两个独立的性状指标对氮高效品种进行筛选。这与 Moll 等^[30]的研究有所不同, 不同作物不能照搬其他作物的筛选方法, 要视具体情况而定。

3 马铃薯氮效率评价方法的研究现状

不同氮素水平下不同基因型马铃薯的氮素效率差异显著, 目前对马铃薯的氮效率的评价指标和方法有很多, 常用的评价指标有氮素吸收效率、氮素利用效率、产量、耐低氮胁迫指数等。

何丹丹等^[36]以不同基因型马铃薯在缺氮和正常氮条件下的平均产量作为氮效率的评价指标, 将马铃薯分为四种类型: 双高型(氮高效)、双低型(氮低效)、低氮高效型、高氮高效型。其中, 双高效型马

铃薯在不同供氮水平下均表现出较高的产量, 干物质积累能力与其他氮效率类型品种相比最强, 无论在正常施氮还是不施氮的情况下, 氮高效基因型马铃薯都能保持较高的产量。通过进一步研究, 发现氮高效型品种的叶片氮素积累量与 SPAD 值均高于低效型品种, 为氮高效型品种提供了物质基础, 进而导致氮高效型品种叶片光合氮利用效率高, 这也是氮高效型品种较氮低效型品种高产的原因。目前这种分类方法被普遍使用, 品种较多时, 可以直观地解释每类氮效率类型马铃薯基因型在不同氮处理下的产量特点, 但是每类氮效率类型马铃薯基因型的氮素吸收效率和氮素利用效率还要进行具体分析。

评价不同马铃薯基因型耐低氮且氮高效的能力也可以用类似的方法。张婷婷等^[37]以不同氮水平下不同马铃薯基因型块茎的平均产量和耐低氮胁迫指数为依据, 将 27 个马铃薯品种分为双高效耐低氮型、双高效不耐低氮型、低氮高效型、高氮高效型、双低效耐低氮型和双低效不耐低氮型 6 类。对双高效耐低氮型‘冀张薯 12 号’和双低效不耐低氮型‘尤佳 70’进行进一步分析, 发现双高效耐低氮型的氮效率显著高于双低效不耐低氮型, 但是这种方法并不能把耐低氮的能力进行量化, 具体的与耐低氮相关的指标还要进一步探索。

除了以上对马铃薯的产量进行分类的方法外, 还有对指标进行加权平均的方法。程红等^[38]在盆栽条件下以 24 个马铃薯品种的产量为主要指标, 在中氮(0.42 mg/L)和高氮(0.84 mg/L)下选择各品种的最佳施氮水平, 根据不同基因型马铃薯间氮效率在低氮处理下的差异, 把植株的含氮率、生物量和氮积累量作为马铃薯氮高效品种筛选的依据。采用加权平均的方法, 对苗期和块茎形成期的马铃薯植株的相对含氮率、相对干物质积累量和相对氮积累量等指标进行赋值, 各时期各指标赋值 = $100 \times$ 该品种在该指标由低到高的排序/24; 苗期评分值 = (相对干物质质量赋值 + 相对含氮率赋值 + 相对氮积累量赋值) $\times 1/3$; 总评价值 = 苗期评分值 $\times 0.3$ + 块茎膨大期评分值 $\times 0.3$ + 产量评分值 $\times 0.4$ 。以最终的总评价值进行聚类分析, 对不同基因型马铃薯品种进行筛选, 把马铃薯分为氮高效、氮低效和中间型品种 3 种类型。这种方法与前一个方法的区别是将高氮高

效型和低氮高效型归为了中间型, 并将马铃薯植株苗期的表现进行了量化。但是这类方法只能解释氮高效、氮低效品种的表现差异, 并不能解释中间型品种的氮效率差异的原因。

4 展 望

近年来, 马铃薯生产过程中氮肥施用过量问题尤为突出, 随之产生资源浪费和环境恶化问题日益突显。科学的氮效率评价方法对于马铃薯育种和栽培技术非常重要, 不仅有利于揭示氮素高效利用的机理, 且对于马铃薯氮肥高效利用和农业绿色发展具有重要意义。基于 Moll 等^[30]的氮效率的评价方法可以作为解析马铃薯氮效率的评价指标, 但是在耐低氮相关指标、中间型品种的氮效率差异原因分析方面还有待进一步研究, 为马铃薯氮效率差异生理机制的研究提供更加科学的理论依据。

[参 考 文 献]

- [1] 王平, 陈举林. 植物氮素吸收过程研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2016, 44(1): 33-35.
- [2] Chen X P, Cui Z L, Vitousek P M, et al. Integrated soil-crop system management for food security [J]. Proceedings of the National Academy of Science, 2011, 108(16): 6399-6404.
- [3] 秦永林, 于静, 陈杨, 等. 内蒙古灌溉马铃薯施肥现状及肥料利用效率 [J]. 中国蔬菜, 2019(11): 75-79.
- [4] 李瑞, 樊明寿, 郑海春, 等. 基于产量水平的内蒙古阴山地区马铃薯施肥评价 [J]. 中国土壤与肥料, 2020(6): 181-188.
- [5] 王艳群, 彭正萍, 薛世川, 等. 过量施肥对设施农田土壤生态环境的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2005(s1): 81-84.
- [6] 王春晓, 凌飞, 鹿泽启, 等. 不同氮效率花生品种氮素累积与利用特征 [J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(11): 1706-1713.
- [7] 魏海燕, 张洪程, 马群, 等. 不同氮肥吸收利用效率水稻基因型叶片衰老特性 [J]. 作物学报, 2010, 36(4): 645-654.
- [8] 王静. 插秧密度和施氮量对水稻产量和氮肥利用率的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [9] 温立玉, 薛艳芳, 张慧, 等. 不同氮效率玉米品种亲本自交系花粒期氮素转运特性 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(4): 568-578.
- [10] 张洋, 张继, 强晓敏, 等. 不同氮效率基因型冬小麦生理特征的比较研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1319-1324.
- [11] 刘国栋, 肖世和. 植物营养与作物育种 [J]. 作物杂志, 2000(3): 4-7.
- [12] Trehan S P. Nutrient management by exploiting genetic diversity of potato—a review [J]. Potato Journal, 2005, 32(1-2): 1-15.
- [13] Zhang F, Chen X, Vitousek P. Chinese agriculture: An experiment for the world [J]. Nature, 2013, 497(7447): 33-35.
- [14] 孙磊, 王弘, 李明月, 等. 马铃薯生产的氮肥管理策略 [J]. 中国马铃薯, 2013, 27(5): 314-318.
- [15] 樊明寿. 马铃薯矿质营养生理及养分管理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [16] 范向斌, 白小东, 杜培兵, 等. 氮肥施用量对马铃薯养分吸收, 产量和品质的影响 [J]. 耕作与栽培, 2020, 40(5): 9-13.
- [17] 胡志华, 徐小林, 李大明, 等. 红壤旱地早熟型马铃薯高产与氮素高效的最优施氮量研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(12): 2216-2223.
- [18] 艾天成, 李方敏, 周治安, 等. 作物叶片叶绿素含量与SPAD值相关性研究 [J]. 湖北农学院学报, 2000, 20(1): 6-8.
- [19] 苏云松, 郭华春, 陈伊里. 马铃薯叶片SPAD值与叶绿素含量及产量的相关性研究 [J]. 西南农业学报, 2007(4): 690-693.
- [20] 张炜, 杨德桦, 黄小箐, 等. 氮肥用量对襄阳地区马铃薯产量、品质 and 经济效益的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2016(1): 72-76.
- [21] 高聚林, 刘克礼, 张宝林, 等. 马铃薯干物质积累与分配规律的研究 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17(4): 209-212.
- [22] 李珺, 刘双全, 仇少君, 等. 典型黑土不同施氮量对马铃薯产量和氮素利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(5): 850-857.
- [23] 吴旭银, 张淑霞, 吴贺平, 等. 马铃薯(克新1号)地膜覆盖栽培氮磷钾的吸收特性 [J]. 河北科技师范学院学报, 2005(1): 11-14.
- [24] 高炳德. 应用养分平衡法对马铃薯配方施肥的研究 [J]. 内蒙古农牧学院学报, 1988(1): 154-161.
- [25] 张绪成, 于显枫, 王红丽, 等. 半干旱区减氮增钾、有机肥替代对全膜覆盖垄沟种植马铃薯水肥利用和生物量积累的调控 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(5): 852-864.
- [26] 徐亚新, 何萍, 仇少君, 等. 我国马铃薯产量和化肥利用率区域特征研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(1): 22-35.
- [27] 于静, 陈杨, 樊明寿. 马铃薯氮素营养特性及氮肥管理 [J]. 中国马铃薯, 2021, 35(2): 183-190.
- [28] 向竹清, 马海艳, 龚静, 等. 氮追肥时期后移对西南地区马铃薯

- 农艺性状及产量构成因素的影响 [C]//金黎平, 吕文河. 马铃薯产业与绿色发展. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2021.
- [29] 王祥植, 张胜, 李星星, 等. 追氮时期及次数对马铃薯氮素吸收和土壤硝态氮残留的影响 [J]. 北方农业学报, 2019, 47(5): 40–47.
- [30] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization 1 [J]. Agronomy Journal, 1982, 74(3): 562–564.
- [31] 王晓婧, 代兴龙, 马鑫, 等. 不同小麦品种产量和氮素吸收利用的差异 [J]. 麦类作物学报, 2017, 37(8): 1065–1071.
- [32] 黄元炯, 张生杰, 马永建, 等. 不同烤烟品种(基因型)氮效率及耐低氮能力的差异 [J]. 烟草科技, 2013(4): 71–77.
- [33] 孙传范, 戴廷波, 荆奇, 等. 小麦品种氮利用效率的评价指标及其氮营养特性研究 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 983–987.
- [34] 童依平, 李继云, 李振声. 不同小麦品种吸收利用氮素效率的差异及有关机理研究 [J]. 西北植物学报, 1999, 19(2): 270–277.
- [35] 陈二影, 杨延兵, 秦岭, 等. 谷子苗期氮高效品种筛选及相关特性分析 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(17): 3287–3297.
- [36] 何丹丹, 贾立国, 秦永林, 等. 不同马铃薯品种的氮利用效率及其分类研究 [J]. 作物学报, 2019, 45(1): 153–159.
- [37] 张婷婷, 孟丽丽, 陈有君, 等. 不同马铃薯品种的氮效率差异研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2021(1): 63–69.
- [38] 程红, 郑顺林, 马海艳, 等. 马铃薯氮高效基因型品种筛选及指标评价 [J]. 西南农业报, 2019, 32(10): 2292–2298.

《中国马铃薯》杂志约稿函

《中国马铃薯》杂志是目前全国唯一的马铃薯专业科技期刊, 国际刊号: ISSN 1672–3635, 国内刊号: CN 23–1477/S, 邮发代号: 14–167, 国内外公开发行人。它以繁荣我国马铃薯产业为办刊宗旨, 积极报道国内外有关马铃薯的学术研究、科研动态和各种实用技术的最新消息。该刊由东北农业大学主管, 由东北农业大学主办。《中国马铃薯》(原名《马铃薯杂志》)创刊于1987年。2000年经申请报国家新闻出版总署审批, 更名为《中国马铃薯》, 同年改为大16开本, 并增加彩色广告。2001年《中国马铃薯》经报黑龙江省科委及省新闻出版局批准, 将原来的季刊改为双月刊。

《中国马铃薯》立足国内, 并刊登一些其他国家作者的英文稿件。它集学术性和技术性于一体, 是马铃薯科研、生产、经销单位和用户之间信息交流的一个平台。《中国马铃薯》不同于其他园艺类期刊, 刊登的文章全部是有关马铃薯的, 主要栏目包括: 遗传育种、栽培生理、病虫害防治、土壤肥料、贮藏加工、产业开发、品种介绍、综述及其他。

该刊于2008年1月1日起开始执行作者在线投稿, 进一步提高了工作效率和办公自动化水平, 方便作者查询。欢迎专业委员会各位委员及广大读者踊跃投稿, 投稿时请登录《中国马铃薯》稿件远程处理系统。

网址: <http://mlsz.cbpt.cnki.net/WKA2/WebPublication/index.aspx?mid=mlsz>。

《中国马铃薯》杂志编辑部