

NBPT 和 DMPP 对陇中半干旱区马铃薯产量及水分利用效率的影响

杨新强¹, 孙建好¹, 李伟琦¹, 陈亮之¹, 赵建华¹, 景龙²
(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃兰州 730070;
2. 定西市安定区李家堡镇政府, 甘肃定西 743017)

摘要: 为了提高氮肥的利用效率, 降低氮肥造成的环境污染, 探索氮肥增效剂在陇中旱作丘陵区的适应性, 在陇中丘陵区旱作农业条件下, 设常规施肥、尿素氮减量 20% 添加 NBPT、尿素氮减量 20% 添加 DMPP、尿素氮减量 20%、不施氮肥 5 个处理, 研究增效剂 NBPT 和 DMPP 对陇中半干旱区马铃薯产量及水分利用效率的影响。结果表明, 常规施肥马铃薯产量均高于尿素氮减量 20% 的处理, 处理间差异不显著, 但与不施氮肥差异显著。其中尿素氮减量 20% 的处理中, 以添加 DMPP 处理产量最高, 为 13 000 kg/hm², 较不施氮肥处理增产 17.72%; 其次是添加 NBPT 处理, 较不施氮肥处理增产 13.41%; 氮减量 20%, 且不添加 DMPP 和 NBPT 处理排名第 3, 较不施氮肥处理增产 12.59%; 另外, 尿素氮减量 20% 添加 DMPP 处理的氮肥农学效率、氮肥偏生产力、水分利用效率和降水利用效率较相同施氮量处理均有一定幅度的提升。因此, DMPP 在陇中旱作马铃薯田使用对其产量和水分利用效率具有一定的提升作用。

关键词: DMPP; NBPT; 产量; 绿色生产; 水分利用效率; 马铃薯

中图分类号: S532

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2023)10-0917-05

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2023.10.006

Effects of NBPT and DMPP on Potato Yields and Water Use Efficiencies in the Semi-arid Areas of Central Gansu

YANG Xinqiang¹, SUN Jianhao¹, LI Weiqi¹, CHEN Liangzhi¹, ZHAO Jianhua¹, JING Long²
(1. Institute of Soil and Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Lijiabu Township Government, Anding District, Dingxi, Dingxi Gansu 743017, China)

Abstract: In order to increase the utilization efficiency of nitrogen fertilizer and decrease the environmental pollution caused by nitrogen fertilizer, an utilization test using nitrogen fertilizer synergist NBPT and DMPP was carried out under dry farming management in the hilly areas of central Gansu to explore the adaptability of nitrogen fertilizer synergist, where the effects of synergists NBPT and DMPP on potato yields and water use efficiencies were studied using five treatments including conventional fertilization, NBPT addition with 20% reduction in urea nitrogen, DMPP addition with 20% reduction in urea nitrogen, 20% reduction in urea nitrogen, and no fertilization (CK). Results showed, except for treatment of no fertilization (CK), potato yield of conventional fertilization was highest in all treatments, but difference among them was not significant and significant compared with CK. DMPP treatment with 20% reduction in urea nitrogen had the highest yield (13 000 kg/ha), which enhanced by 17.72% than CK, following by NBPT treatment, which increased by 13.41% and 12.59% than CK, respectively. On the other hand, the nitrogen fertilizer efficiency, nitrogen fertilizer partial productivity, water use efficiency, and precipitation use efficiency under the DMPP treatment with 20% reduction in urea nitrogen were significantly improved compared to the same nitrogen application rate treatment. Therefore, DMPP has further promotion potential of yield and water use efficiency improvement for potato cultivated in the dryland of central Gansu.

Key words: DMPP; NBPT; Yield; Green Production; Water use efficiency; Potato

农业可持续发展是我国的基本国策之一, 而化肥不合理施用是制约我国农业可持续发展的
现农业可持续发展的核心是提高资源利用效率^[1], 瓶颈之一。目前中国的氮肥使用量占全球的 30%,

收稿日期: 2023-05-18; 修订日期: 2023-09-19

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1900704)。

作者简介: 杨新强(1981—), 男, 甘肃靖远人, 助理研究员, 主要从事肥料增效剂与土壤培肥方面的研究工作。Email: 278830045@qq.com。

通信作者: 孙建好(1972—), 男, 甘肃永登人, 副研究员, 主要从事农业资源高效利用方面的研究工作。Email: 441597097@qq.com。

而氮肥利用率仅为 25%~40%，比发达国家低 10%~25%^[2-4]。近年来，随着氮肥投入量过多和不科学施用，导致土壤显著酸化、能源消耗、水污染、农民收益降低等问题^[5]。如何提高氮肥的利用效率、降低氮肥过度使用所形成的环境污染早已成为全世界农业存在的重要问题。向氮肥中添加增效剂来调节氮素在土壤中的转化过程是一项很有发展潜力且可行的氮肥管理措施。目前，主流的氮肥增效剂有两种，一种是硝化抑制剂(DMPP)，另一种是脲酶抑制剂(NBPT)。DMPP 可通过抑制土壤氨氧化微生物(主要是 AOA 和 AOB)活性，从而抑制硝态氮的产生，使得土壤中氮主要以铵态氮形式存在，以延长供氮时间或者增加供氮强度，增加植株氮吸收量，进而提高产量和氮素利用率^[6]；NBPT 可通过竞争性抑制脲酶活性延缓尿素水解，有效期 15~20 d^[7]，降低铵态氮积累和损失速率。据统计，2018 年全世界稳定性肥料共施用 1 570 万 t，其中添加脲酶增效剂 820 万 t，添加硝化增效剂 260 万 t；美国 1 200 万 t 尿素硝铵肥(UAN)几乎全部添加肥料增效剂；欧洲法规要求尿素必须添加增效剂。

目前，国内对氮肥增效剂的研究主要集中在室内盆栽、东北壤土、银川灰钙土、农学效率、土壤肥力、小麦产量等方面^[8-15]。甘肃 70%左右的耕作区为旱作农业区，对氮肥增效剂在陇中旱作黄土丘陵区的适应性研究尚为空白。针对陇中土壤氮素氨挥发严重、土壤硝化速率过快、氮肥利用率不高的问题，我们引进了新型肥料增效剂 NBPT 和 DMPP，通过田间试验探寻干旱区马铃薯化肥减施的技术途径，为旱区马铃薯增产增效减排的综合栽培技术集成提供科学依据，为当地马铃薯产业绿色发展提供科技支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验设在甘肃省定西市安定区李家堡村的甘肃农业大学旱作农业综合实验站。该区属中温带半干旱偏旱区，海拔 1 947 m，年平均日照时数 2 477 h，太阳辐射量为 593 kJ/cm²。年均气温 6.4 ℃，≥0 ℃积温为 2 934 ℃，≥10 ℃积温为 2 239 ℃，年均无霜期为 140 d。年平均降水量为 390 mm，年际、年内变化大，年蒸发量 1 531 mm。

由于 2022 年降水量较往年明显偏低，4—10 月份的累计降水量只有 250 mm(图 1)。试验区土壤为黄绵土，土质较绵软，土层深厚，质地均匀，贮水性能良好。耕层土壤(0~20) cm 含有机质 11.92 g/kg、全氮 0.78 g/kg、全磷 1.81 g/kg，土壤容重 1.17 g/cm³，凋萎含水率 7.3%，饱和含水率 28.6%，pH 8.36。

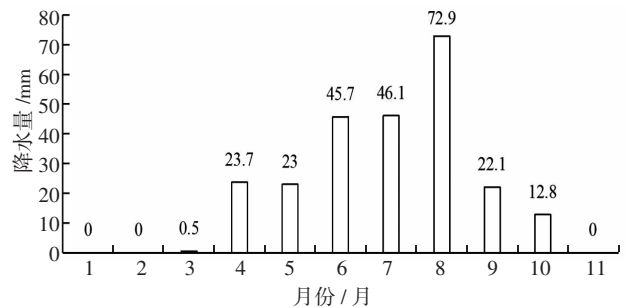


图 1 2022 年李家堡镇降水量

1.2 供试材料

供试肥料为尿素(N≥46%，由中国石油天然气股份有限公司生产)；普通过磷酸钙(P₂O₅≥16%，由云南金星化工有限公司生产)；增效剂 NBPT(脲酶抑制剂)、DMPP(硝化抑制剂)，均由武威金仓生物科技有限公司生产。指示马铃薯品种为陇薯 10 号，由甘肃一航薯业科技发展有限责任公司提供。

1.3 试验设计

试验共设 5 个处理，处理 1，当地常规施肥，N 200 kg/hm²、P₂O₅ 150 kg/hm²；处理 2，氮减量 20%+NBPT(施 N 量的 0.2%)，N 160 kg/hm²、P₂O₅ 150 kg/hm²；处理 3，氮减量 20%+DMPP(施 N 量的 1%)，N 160 kg/hm²、P₂O₅ 150 kg/hm²；处理 4，氮减量 20%，N 160 kg/hm²、P₂O₅ 150 kg/hm²；处理 5，不施氮肥(CK)，施 P₂O₅ 150 kg/hm²。试验采用随机区组排列，3 次重复。小区面积 30 m²(5 m×6 m)。采用垄作黑膜覆盖栽培技术，行距 50 cm，株距 40 cm，播种密度为 5.0 万株/hm²。于 2022 年 5 月 20 播种，10 月 25 日收获。NBPT、DMPP 和磷肥作为基肥一次性施入，尿素 75%作为基肥，25%在盛花期追肥。马铃薯生长期，人工除草，及时防治病虫害，其他管理同大田。收获前按小区随机取样 10 株进行考种，并调查块茎性状，按小区单收计产。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 氮肥偏生产力 氮肥偏生产力(partial factor

productivity from applied N, PFPN), 指单位投入的肥料氮所能生产的作物籽粒产量, 即 $PFPN=Y/F$, 式中, Y 为施氮后所获得的籽粒产量, F 代表氮肥的投入量。

1.4.2 氮肥农学效率 氮肥农学效率 (Agronomic efficiency of applied N, AEN), 指单位施氮量所增加的作物籽粒产量, 计算公式如下:

$$AEN=(Y-Y_0)/F$$

式中, Y 为施肥后所获得的作物产量, Y_0 为不施肥条件下作物的产量, F 代表化肥的投入量。

1.4.3 水分利用效率 水分利用效率 (Water Use Efficiency, WUE) 是作物消耗单位水量生产出的产量, 籽粒产量水分利用效率计算公式如下:

$$WUE=Y/ET$$

式中, Y 为籽粒产量, ET 为作物一生的耗水量。

1.4.4 降水利用效率

$$RUE=Y/P$$

式中, RUE 为降水利用效率, Y 为马铃薯产量, P 为生育期降水量。

1.5 数据分析

采用 Excel 2016 进行试验数据整理汇总, 用 SPSS 19.0 对产量、氮肥农学效率、氮肥偏生产力、作物水分利用效率等进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 NBPT 和 DMPP 对马铃薯产量的影响

由表 1 可知, 在陇中丘陵区旱作农业条件下, 常规施肥处理 1 的马铃薯产量最高, 达 13 800 kg/hm², 较 CK 增产 24.97%; 处理 3 次之, 为 13 000 kg/hm², 较 CK 增产 17.72%; 处理 2 居第 3 位, 为 12 523 kg/hm², 较 CK 增产 13.41%; 处理 4 最低, 为 12 433 kg/hm², 较 CK 增产 12.59%。对各处理马铃薯产量进行方差分析表明, 处理 1 与 CK 差异显著, 与其余处理差异均不显著。在尿素氮减量 20% 的情况下, 处理 3 和处理 2 产量较处理 4 分别

提高 567、90 kg/hm²。因处理 1 (常规施肥) 施氮量最大, 故产量相对最高; 处理 2、处理 3 的施氮量一致, 产量差异不显著。但是减少了施氮量, 也就减少了农户的成本和对环境的污染。据测算, 在减少施肥量 20% 的情况下, 保持产量不变, 可以增加产投比 12.5% 左右。所以在尿素、磷酸二铵等氮肥中添加肥料增效剂是一种经济可行、绿色环保的措施。综上分析, 2 种增效剂尤其是 DMPP 在陇中旱作丘陵区及类似生态区域有较好的适用性。可见, 在陇中旱作丘陵区, 氮肥的施用量依然是影响马铃薯产量最重要的因素。

2.2 NBPT 和 DMPP 对氮肥偏生产力和氮肥农学效率的影响

由表 2 可知, 各处理的氮肥偏生产力由高到低依次为处理 3、处理 2、处理 4、处理 1。其中处理 3 最高, 为 81.25 kg/kg, 较处理 1 提高 17.8%; 其次是处理 2, 为 78.26 kg/kg, 较处理 1 提高 13.4%; 处理 4 居第 3, 为 77.71 kg/kg, 较处理 1 提高 12.6%, 处理间差异不显著。氮肥农学效率处理 3、处理 2、处理 4 均低于处理 1, 其中处理 3 较高, 为 12.23 kg/kg, 较处理 1 降低 11.2%; 其次是处理 2, 为 9.24 kg/kg, 较处理 1 降低 32.9%; 处理 4 居第 3, 为 8.68 kg/kg, 较处理 1 降低 37.0%。处理 1 与处理 3 差异不显著, 与处理 2 和处理 4 差异显著。可见在常规处理施氮量 200 kg/hm² 的基础上, 施氮量减量 20% 处理的氮肥偏生产力高于常规施肥处理, 氮肥的施用量多, 氮

表 2 不同处理的氮肥偏生产力和氮肥农学效率

处理	氮肥偏 生产力 /(kg/kg)	较处理1 提高 /%	氮肥农学 效率 /(kg/kg)	较处理1 提高 /%
1	69.00 a		13.78 a	
2	78.26 ab	13.4	9.24 b	-33.0
3	81.25 ab	17.8	12.23 ab	-11.3
4	77.71 ab	12.6	8.68 b	-37.0

表 1 不同处理的马铃薯产量

处理	小区产量/(kg/30 m ²)				折合产量 /(kg/hm ²)	较CK增产 /(kg/hm ²)	增产率 /%
	I	II	III	平均			
1	42.2	43.3	38.7	41.40±2.40 a	13 800 a	2 757	24.97
2	42.0	39.3	31.4	37.57±5.51 ab	12 523 ab	1 480	13.40
3	40.0	38.0	39.0	39.00±1.00 ab	13 000 ab	1 957	17.72
4	39.0	37.9	35.0	37.3±2.07 ab	12 433 ab	1 390	12.59
5(CK)	31.3	33.0	35.1	33.13±1.90 b	11 043 b		

肥偏生产力反而降低；尿素氮减量 20% 处理的氮肥农学效率均低于常规施肥处理。

2.3 NBPT 和 DMPP 对水分利用效率和降水利用效率的影响

由于试验站地处陇中旱作丘陵区，素有“十年九旱”之称，降水的利用效率对农作物生产意义重大。由表 3 可知，水分利用效率和降水利用效率均以处理 1 最高，分别达 59.6、55.2 kg/(mm·hm²)，处理 1 与 CK 差异显著，与其余处理差异不显著；其次是处理 3，分别为 56.2、52.0 kg/(mm·hm²)；CK 处理最低，分别为 47.7、44.2 kg/(mm·hm²)。可见，不同处理降水利用效率和水分利用效率的变化趋势一致，说明降水量仍是影响陇中旱作丘陵区作物水分利用效率和产量的最重要限制因子。

表 3 不同处理的水分利用效率和降水利用效率
kg/(mm·hm²)

处理	水分利用效率	降水利用效率
1	59.6 a	55.2 a
2	54.1 ab	50.1 ab
3	56.2 ab	52.0 ab
4	53.7 ab	49.7 ab
5(CK)	47.7 b	44.2 b

3 讨论与结论

马铃薯在不同生育时期对氮的需求表现为“两头轻中间重”的规律^[16]，在块茎膨大期适当提高土壤供氮能力有利于马铃薯生长与产量的增加^[17-19]。DMPP 和 NBPT 增效剂能通过抑制土壤脲酶活性或者氨氧化等菌群活性^[6-7]，减缓尿素分解、抑制矿质氮转化以延长或者调整氮供应时间，提高氮素利用效率^[20-21]。一般情况下，土壤中 NO₃⁻-N 是 NH₄⁺-N 的 8 倍，土壤黏土层不能吸附硝态氮，其会随水流失。DMPP 有效抑制了土壤亚硝化细菌的活性，从而有效阻止并延缓了铵态氮向硝态氮的自然转化，在土壤中将氮肥保持在较多的铵态氮营养状态。据统计，DMPP 和 NBPT 大幅提高氮肥的利用效率 12%~13%，提高作物产量 7%~13%，2 种肥料增效剂的组合则可以减少 50% N₂O 气体损失，30% 的 NO₃⁻-N 的损失，53% NH₃ 气体损失。且 DMPP 和 NBPT 无毒无害不挥发，在土壤中完全分解，最终产物为 PO₄³⁻、H₂O、CO₂、氮氧化物等，对土壤、微生物、水体、人畜等无风

险^[21]。如果能够在陇中乃至更多的地方推广使用，将对当地的粮食安全、农民增收、生态环境等产生巨大的推动作用。

试验结果表明，在尿素氮减量 20% 的情况下，马铃薯产量以添加 DMPP 处理产量最高，为 13 000 kg/hm²，较不施氮肥处理增产 17.72%；其次是添加 NBPT 处理，为 12 523 kg/hm²，较不施氮肥处理增产 13.41%；不添加 DMPP 和 NBPT 处理排第 3，为 12 433 kg/hm²，较不施氮肥处理增产 12.59%。添加 NBPT 和 DMPP 处理马铃薯产量较常规施肥处理分别提高 90、567 kg/hm²。在氮肥农学效率和氮肥偏生产力方面，在尿素氮减量 20% 的情况下，添加 DMPP 处理能够明显提高氮肥的偏生产力，较常规施肥处理提高 12.6%~17.8%。尿素氮减量 20% 添加 DMPP 处理的氮肥农学效率、氮肥偏生产力、水分利用效率和降水利用效率较相同施氮量处理均有一定幅度的提升。综上分析，DMPP 既可以提高马铃薯的产量和经济效益，也能提高其氮肥偏生产力，在平均降水不到 400 mm 的陇中旱作丘陵区具有较好的适应性。

参考文献：

- [1] 张福锁, 马文奇. 肥料投入水平与养分资源高效利用的关系[J]. 土壤与环境, 2000(2): 154-157.
- [2] 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.
- [3] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2008(2): 450-459.
- [4] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002(9): 1095-1103.
- [5] 韩宝吉, 曾祥明, 卓光毅, 等. 氮肥施用措施对湖北中稻产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(4): 842-850.
- [6] 史云峰, 车志伟, 赵牧秋. 脲酶抑制剂 NBPT 提前施用对尿素水解和氨挥发的影响[J]. 环境保护科学, 2016, 42(5): 107-111.
- [7] 戴宇, 贺纪正, 沈菊培. 双氰胺在农业生态系统中的应用效果及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2014, 25(1): 279-286.
- [8] 万年鑫, 黄强, 郑顺林, 等. 硝化/脲酶抑制剂对秋马铃薯植株及土壤氮素利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(1): 83-89.

- [9] 高海洋, 金光辉, 张春雨, 等. 肥料增效剂对马铃薯农艺性状及产质量影响[J]. 中国马铃薯, 2019(5): 290-295.
- [10] 董彦旭, 蔡冬清, 黄新异, 等. 新型肥料增效剂对马铃薯肥料减施增效作用研究[J]. 中国马铃薯, 2016(3): 164-168.
- [11] 郜峰, 董军红, 周其军, 等. 肥料增效剂 NAM 对小麦产量及氮肥农学利用率的影响[J]. 河北农业科学, 2023, 27(1): 76-80.
- [12] 阚建鸾, 王晓云, 苏建平, 等. 不同氮肥抑制剂对小麦产量、土壤肥力、氮肥利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2023, 39(5): 69-74.
- [13] 陈亮之, 孙建好, 赵建华, 等. 氮肥增效剂对春小麦产量和效益的影响[J]. 寒旱农业科学 2023, 2(6): 564-566.
- [14] 倪秀菊, 李玉中, 徐春英, 等. 土壤脲酶抑制剂和硝化抑制剂的研究进展[J]. 中国农学通报 2009, 25(12): 145-149.
- [15] 孙建好, 郭全恩, 赵建华, 等. 基于甘肃省中低产田现状的改良措施及其应用效果[J]. 寒旱农业科学 2023, 2(2): 139-144.
- [16] 韦冬萍, 韦剑锋, 熊建文, 等. 马铃薯氮素营养研究进展[J]. 广东农业科学, 2011, 38(22): 56-60.
- [17] 丁凡, 王季春, 唐道彬, 等. 不同营养方式下雾培马铃薯对氮、磷、钾的吸收、利用及分配规律[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2008, 33(3): 81-85.
- [18] 夏锦慧. 马铃薯“大西洋”物质积累及氮、磷、钾营养特征研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(4): 267-271.
- [19] 罗爱花, 陆立银, 王一航. 大中微量元素配施对陇薯 5 号养分吸收及品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2011, 28(6): 52-56.
- [20] 鲁艳红, 聂军, 廖育林, 等. 氮素抑制剂对双季稻产量、氮素利用效率及土壤氮平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 95-104.
- [21] 黄强, 郑顺林, 郭函, 等. 尿素配施硝化/脲酶抑制剂对春季和秋季马铃薯产量及土壤矿质氮的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(9): 1499-1507.