

新型尿素对马铃薯氮素积累、产量及氮肥利用率的影响

韩向东¹, 刘耀军¹, 樊晨², 苏乐平², 刘晶¹

(1. 延安市土壤肥料工作站, 陕西延安 716000; 2. 延安市农业科学研究院, 陕西延安 716000)

摘要:为筛选出适宜陕北地区马铃薯种植使用的新型尿素, 共设置无氮对照、普通尿素、聚能网尿素、腐植酸尿素、含锌尿素、控失尿素 6 个试验处理, 研究新型尿素对马铃薯氮素积累量、产量和肥料利用率的影响。结果表明: 施用腐植酸尿素、控失尿素和含锌尿素均提高了马铃薯单株薯重和结薯数, 产量较普通尿素分别增加了 17.63%、8.21%、4.70%; 新型尿素均有效提高植株各器官氮含量和植株总吸氮量, 腐植酸尿素效果更佳, 经济效益较普通尿素增加 5 502.11 元/hm²; 腐植酸尿素和控失尿素的氮肥利用率、氮肥偏生产力、氮肥农学效率和氮肥贡献率较普通尿素分别提高 0.97%~7.43%、5.48~15.39 kg/kg、5.48~15.39 kg/kg、3.77%~9.47%。因此在陕北地区, 腐植酸尿素和控失尿素在马铃薯种植生产中效果较好, 可做推广使用。

关键词: 马铃薯; 腐植酸尿素; 控失尿素; 产量; 氮肥利用率

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 0488-5368(2024)12-0068-06

Effects of New Types of Urea on Nitrogen Accumulation, Yield and Nitrogen Use Efficiency in Potato Production

HAN Xiangdong¹, LIU Yaojun¹, FAN Chen², SU Leping², LIU Jing¹

(1. Yan'an Soil and Fertilizer Workstation, Yan'an, Shaanxi 716000, China;

2. Yan'an Research Institute of Agricultural Sciences, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

Abstract: To identify a new type of urea for potato cultivation in northern Shaanxi, a study was conducted using six treatments: no nitrogen (control), normal urea, structured net urea, humic acid urea, zinc urea and controlled-release urea. The effects of these treatments on nitrogen accumulation, yield, and nitrogen use efficiency in potato were evaluated. The results showed that the application of humic acid urea, controlled-release urea and zinc urea increased the weight per plant and the number of tubers, with yield increases of 17.63%, 8.21%, and 4.70%, respectively, compared with normal urea. These new types of urea effectively improved nitrogen content in various plant organs and total nitrogen uptake, with humic acid urea showing superior performance. This treatment led to a statistically significant improvement over normal urea and increased economic returns by 5,502.11 yuan/hm². Compared to normal urea, humic acid urea and controlled-release urea improved nitrogen use efficiency indexes, including nitrogen utilization rate, nitrogen partial productivity, nitrogen agronomic efficiency, and nitrogen contribution rate, by 0.97~7.43%, 5.48~15.39 kg/kg, and 3.77~9.47%, respectively. This study suggests that humic acid urea and controlled-release urea are highly effective for potato production and merit broader adoption in agriculture.

Key words: Potato; Humic acid urea; Controlled-release urea; Yield; Nitrogen use efficiency

收稿日期: 2024-04-26 修回日期: 2024-06-10

第一作者简介: 韩向东 (1970-), 男, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料试验研究及推广示范。

通信作者: 苏乐平。

我国作为粮食生产大国,化肥在我国的粮食生产中扮演者重要的角色。据调查,20世纪80年代,化肥的施用对我国粮食的增产贡献率达到半数以上^[1]。肥料的使用极大地促进粮食的生产,但随着化肥使用量的迅猛增加,我国的粮食的产量却徘徊不前,肥料利用率愈来愈低^[2]。有研究表明,我国当季肥料利用率远低于欧美等发达国家,氮肥利用率仅为30%~35%^[3]。氮肥有效成分的大量流失,不仅造成了巨大的经济损失,还严重污染了环境,造成土壤板结变硬,地下水污染,水体富营养化等一系列问题,不仅破坏了生态环境,还危及我们自身的健康^[4-6]。因此,寻找更高效、绿色肥料将是我国日后肥料发展的主要方向。加之自2010年以后,中国化肥工业产能过剩,肥料企业竞争激烈,特别是2015年农业部提出《化肥农药零增长行动方案》后,肥料科学研究的重点则转为研发具有较高肥料利用率的新型肥料^[7-8]。

新型尿素是指对普通尿素进行包膜、添加抑制剂或一些微量元素等,进而改型改性,减缓或控制肥料的释放,达到延长肥料有效期、促进农业增产提质目的^[9-10],是目前农业部重点推广肥料之一,也是新型肥料的研究热点。有研究表明,新型尿素可有效促进作物养分吸收,提高肥料利用率,实现作物增产与农田污染减排等作用^[11-15]。目前,关于新型尿素的研究,大多学者都集中在玉米、水稻、小麦等作物上,因此,本试验以控失尿素、腐植酸尿素、聚能网尿素、含锌尿素为供试肥料,探究其在马铃薯氮素吸收、氮肥利用率及产量等方面的应用效果,从而筛选出适宜陕北地区马铃薯种植使用的新

型尿素,为化肥减量增效提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于2023年在子长市栾家坪街道办南家湾村进行,该地区属中温带大陆性半干旱季风气候;试验地前茬为玉米,土质为黄绵土,基础养分为全氮0.57 g/kg、有效磷25.55 mg/kg、速效钾150.0 mg/kg、缓效钾801 mg/kg、有机质9.9 g/kg、pH8.4。

1.2 试验材料

供试马铃薯品种为冀张薯12号;

供试肥料为普通尿素(N 46.4%)、聚能网尿素(N 46.4%)、腐植酸尿素(N 46%)、含锌尿素(N 43.2%)、控失尿素(N 43.2%),均由河南心连心化肥有限公司提供;重过磷酸钙(总 P_2O_5 46.4%,有效磷 P_2O_5 44.0%),硫酸钾(K_2O 51.0%),所有供试肥料均在当地农资店购买。

1.3 试验设计

试验共设6个处理,采用随机区组排列,3次重复,小区面积为38.28 m²(5.8 m×6.6 m,12行/区),行距55 cm,株距30 cm,密度60 600株/hm²。试验统一施用纯N 315.0 kg/hm²,重过磷酸钙420.0 kg/hm²、硫酸钾600.0 kg/hm²。其中氮肥底施:追施比为43.0%:57.0%,底施氮于播种时一次施入,追氮于马铃薯块茎增长初期1次性随灌水打孔追施(表1)。其它田间管理措施与一般大田相同。

表1 试验处理及施肥量

处理编号	处理	基施尿素(kg/hm ²)	追施尿素(kg/hm ²)
CK	对照(不施氮)	0	0
U	普通尿素(N 46.4%)	291.91	386.96
P-U	聚能网尿素(N 46.4%)	291.91	386.96
H-U	腐植酸尿素(N 46.0%)	294.46	390.33
Zn-U	含锌尿素(N 43.2%,Zn2.0%)	313.54	415.63
C-U	控失尿素(N 43.2%)	313.54	415.63

1.4 样品的采集与测定

播种前按“棋盘式”方法取0~20 cm土样6个(每个土样需由3个取样点取样混合而成),用于测定播种前土壤基础养分含量。有机质采用重铬酸钾容量法测定;碱解氮采用扩散法测定;有效磷采用0.5 mol/L NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法测

定;速效钾采用1.0 mol/L NH₄OAc浸提-火焰光度法测定。

在马铃薯成熟期取其样,每小区3株,按茎、叶、根、块茎四部分测定鲜重;然后从混匀后的各器官中取100 g鲜样在105℃杀青30 min,于80℃下烘干至恒重,测定其干重及氮素含量。植株全氮采

用浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消解-蒸馏定氮法测定。马铃薯收获时,选择各小区具有代表性的一膜,进行马铃薯测产并折合为公顷产量,其中,商品薯产量以大于 150 g 的块茎为准。

1.5 相关参数计算

吸氮量 (kg/hm^2) = 株数 ($株/hm^2$) × 单株干重 ($kg/株$) × 氮素含量 (g/kg);

氮肥利用率 (NUE, %) = (施氮区植株氮总积累量 - 不施氮区植株氮总积累量) / 施氮量 × 100;

氮肥偏生产力 (PEPN, kg/kg) = 施氮后产量 / 施氮量;

氮肥农学效率 (AEv, kg/kg) = (施氮处理产量 - 不施氮处理产量) / 施氮量;

氮肥贡献率 (%) = (施氮处理产量 - 不施氮处理产量) / 施氮处理产量 × 100%

1.6 数据分析

试验数据均采用 Excel 2010 软件进行计算整理,用 IBM SPSS Statistics 25.0、Origin. 2018 软件进行作图和统计分析。

2 结果与分析

表 2 不同施肥处理马铃薯全株及各器官吸氮量

处理	植株总吸氮量 (kg/hm^2)	各器官吸氮量 (kg/hm^2)			
		茎	叶	根	块茎
CK	121.57±12.41c	9.51±1.14b	13.22±2.34c	4.14±0.23c	94.71±9.45c
U	221.20±4.55b	41.39±4.03a	35.34±5.80b	9.07±0.71a	135.40±6.58b
P-U	234.82±11.45ab	36.80±2.91a	44.14±5.47ab	6.73±0.97abc	147.15±8.50ab
H-U	258.20±9.29a	43.44±5.35a	36.74±1.61b	6.54±1.83abc	171.48±12.90a
Zn-U	247.23±16.82ab	44.84±3.80a	49.72±4.47a	7.55±1.29ab	145.12±13.05ab
C-U	234.72±12.06ab	39.40±3.23a	43.28±2.79ab	6.04±0.95bc	145.99±16.89ab

注:数据后小写字母表示 $P<0.05$ 水平下的差异显著性。下同。

2.2 新型尿素对马铃薯各器官氮含量的影响

由图 1 可知,不同类型尿素对马铃薯各器官氮含量均有增加。与 CK 相比,各处理茎秆氮含量均显著大于 CK,分别较 CK 增加了 53.56%、69.70%、77.74%、48.28%、69.01%;叶片氮含量为 $P-U>C-U>Zn-U \approx H-U \approx U>CK$,其中处理 P-U、C-U 与 CK 差异显著,较 CK 分别增加了 31.00%、29.97%;各处理根氮含量较 CK 均有不同程度增加,但差异不显著;块茎氮含量为 $H-U>P-U>C-U>Zn-U>U>CK$,各处理均显著大于 CK,较 CK 分别增加了 53.04%、40.16%、38.72%、28.32%、25.

2.1 新型尿素对马铃薯氮素吸收积累量的影响

由表 2 可知,各施肥处理马铃薯各器官和单株吸氮量较 CK 均显著增加。在相同施氮量下,各处理的植株总吸氮量较 U 均有增加,其中处理 H-U 吸氮量最高,达 258.20 kg/hm^2 ,且与 U 差异达显著水平 ($P<0.05$),具体表现为 $H-U>Zn-U>P-U>C-U>U$,分别较 U 提高 16.73%、11.77%、6.16%、6.11%;不同器官吸氮量不同,马铃薯茎秆吸氮量为 $Zn-U>H-U>U>C-U>P-U$,其中处理 Zn-U、H-U 较 U 分别增加了 8.34%、4.95%,处理 C-U、P-U 较 U 降低,但各处理与 U 均无显著差异;叶吸氮量为 $Zn-U>P-U>C-U>H-U>U$,Zn-U 较 U 和 H-U 差异显著且分别提高 40.69%、35.33%,P-U、C-U、H-U 较 U 差异不显著;各处理根部吸氮量较 U 均降低,其中 C-U 较 U 差异显著;块茎吸氮量为 $H-U>P-U>C-U>Zn-U>U$,较 U 分别提高了 26.65%、8.68%、7.82%、7.18%,其中 H-U 与 U 差异显著。

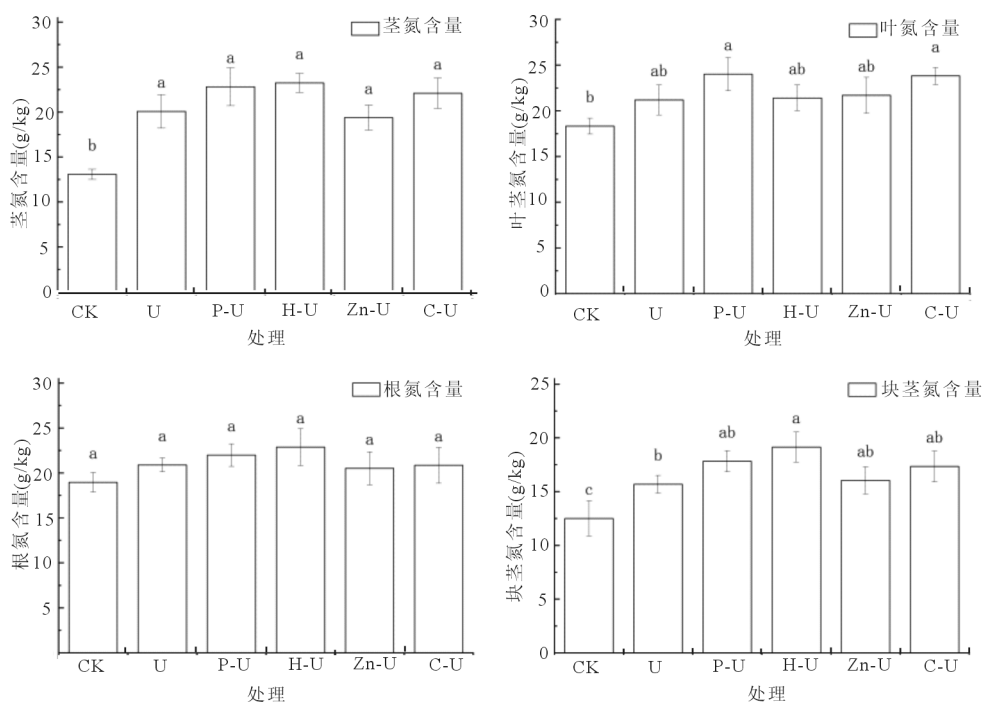


图1 不同施肥处理马铃薯各器官氮含量

2.3 新型尿素对马铃薯产量及其构成因素的影响

由表3可知,各施肥处理的产量、单株结薯数、单株薯重较CK均增加,除处理U、P-U单株结薯数与CK差异不显著,其余处理均与CK达显著差异($P < 0.05$);商品薯率较CK增加,但差异不显著。相同施氮量下,单株结薯数除处理P-U外,其余处理均大于U,其中H-U、C-U较U显著增加了

14.25%、12.85%;单株薯重以H-U最大,与处理P-U、Zn-U、C-U和U均呈显著差异,且较U增加了16.36%;商品薯率以H-U、Zn-U较高,但各施肥处理间无显著性差异;产量以H-U最大、C-U次之、P-U最小,分别较U增加了17.63%、8.21%、3.00%,其中H-U与U差异显著,同时与P-U、Zn-U、C-U也呈显著差异。

表3 不同施肥处理马铃薯产量及其构成因素

处理	单株结薯数 (个/株)	单株薯重 (kg/株)	商品薯率 /%	产量 (kg/hm ²)	较CK增产率 /%	较U增产率 /%
CK	3.24c	0.43c	0.71a	26 078.68c		
U	3.58bc	0.55b	0.73a	33 141.77b	27.08	
P-U	3.49bc	0.56b	0.73a	34 135.51b	30.89	3.00
H-U	4.09a	0.64a	0.78a	38 985.05a	49.49	17.63
Zn-U	3.81ab	0.57b	0.77a	34 700.97b	33.06	4.70
C-U	4.04a	0.59b	0.72a	35 861.37b	37.51	8.21

2.4 新型尿素对氮肥利用率的影响

氮肥的吸收利用效果在一定程度上反映出了肥料的好坏,同时也反映出作物对肥料的吸收情况。肥料利用率的提高,不仅促进作物的生长发育,还能有效节约资源,减少农田污染。由表4可知,在氮的吸收利用上,处理P-U、H-U、Zn-U、C-U

的氮肥利用率、氮肥偏生产力、氮肥农学效率和氮肥贡献率均高于对照处理U,以处理H-U最高,较U分别提高了37.15%、17.63%、82.74%、54.69%,且差异显著。此外,处理Zn-U的氮肥利用率较U显著高26.11%,处理C-U的氮肥农学效率较U显著高38.54%。

表 4 不同施肥处理氮肥的吸收利用效果

处理	氮肥利用率 /%	氮肥偏生产力 (kg/kg)	氮肥农学效率 (kg/kg)	氮肥贡献率 /%
U	31.63c	105.21b	22.42c	21.32b
P-U	35.95bc	108.37b	25.58bc	23.51b
H-U	43.38a	123.76a	40.97a	32.98a
Zn-U	39.89ab	110.16b	27.37bc	24.69b
C-U	36.92bc	113.85b	31.06b	27.28b

2.5 新型尿素对马铃薯经济效益的影响

由表 5 可知,施氮处理的总产值均显著高于 CK,与 CK 相比,马铃薯产值增加 6 330.99 ~ 12 260.90 元/hm²,增幅达 29.49%~57.12%;纯收益较 CK 分别增加 1 618.03 元/hm²、2 258.79 元/hm²、7 120.14 元/hm²、3 529.72 元/hm²、3 289.47 元/hm²,增幅达 8.76%~38.56%,其中处理 H-U 与 CK

达显著差异($P<0.05$)。相同施氮量下,马铃薯产值以 H-U 最大,P-U 最小,较 U 分别增加了 5 929.91 元/hm²、715.6 元/hm²,且均无显著差异;纯收益较 U 分别增加了 640.52 元/hm²、5 502.11 元/hm²、1 911.69 元/hm²、1 671.44 元/hm²,增幅达 3.19%~27.40%,其中处理 H-U 与 U 达显著差异($P<0.05$)。

表 5 不同施肥处理对马铃薯经济效益的影响

处理	产值①(元/hm ²)	投入②(元/hm ²)	产投比	纯收益(元/hm ²)	较 CK 增收率/%	较 U 增收率/%
CK	21 465.24b	3 000.00	7.16	18 465.24b		
U	27 796.23a	7 712.96	3.60	20 083.27b	8.76	
P-U	28 511.83a	7 788.04	3.66	20 723.79b	12.23	3.19
H-U	33 726.14a	8 140.76	4.14	25 585.38a	38.56	27.40
Zn-U	29 834.55a	7 839.59	3.81	21 994.96ab	19.12	9.52
C-U	29 813.05a	8 058.34	3.70	21 754.71ab	17.81	8.32

注:①马铃薯商品薯 1.0 元/kg,非商品薯 0.4 元/kg。②控失尿素 2 000 元/t、腐殖酸尿素 2 250 元/t、聚能网尿素 1 750 元/t、含锌尿素 1 700 元/t、普通尿素 1 650 元/t,重过磷酸钙 2 000 元/t、硫酸钾 4 600 元/t,其他投入 3 000 元/hm²。

3 讨论及结论

氮素作为马铃薯生长所必需的营养元素之一,往往影响着植株整个生育时期的生长和产量的形成,其形态、供应水平和在植株体内的分配都严格影响着块茎产量的形成^[11,16]。选用合适的氮肥是作物增产和提高肥料利用率的必要手段,而新型肥料的施用有效减少农民生产成本的投入,增加作物产量,同时也降低农业环境的污染。李源^[17]等研究表明,施用新型尿素均不同程度增加了棉花产量,增产幅度在 3.78%~10.36%,以控失尿素增产效果最为明显,其次为腐植酸尿素;李亚莉^[18]等研究表明,聚能网尿素、腐殖酸尿素、控失尿素都显著增加了哈密瓜干物质和产量,产量增加 7.36%~10.07%,其中腐殖酸尿素增产效果最好;张爱华^[19]等研究表明,各新型尿素显著增加玉米地上

部生物量和产量,对植株养分积累和氮肥利用率的提高效果显著。在本试验中,相对于普通尿素,除聚能网尿素略有降低马铃薯单株结薯数外,腐殖酸尿素、含锌尿素、控失尿素等几类新型尿素均提高马铃薯单株结薯数和单株薯重,从而增加产量,其中以腐植酸尿素效果最好,较对照增产 17.63%且差异显著,控失尿素次之,增产 8.21%。这与前述研究结果相近。在商品薯率方面,本试验中以大于 150 g 的块茎为商品薯,故各施肥处理间商品薯率差异不显著,以 H-U、Zn-U 表现较好,较 U 增加了 6.85%、5.48%,这与李春琴^[20]、赵欣楠^[7]等研究结果一致。

从各肥料的氮素吸收效果来看,几种新型尿素均提高了马铃薯各器官内的氮含量,其中腐植酸尿素在增加茎秆和块茎中氮含量效果明显,大于其它新型尿素和普通尿素,且较普通尿素增加显著;聚

能网尿素和控失尿素能有效促进马铃薯叶片中氮含量的增加,较对照差异显著。同时,几种新型尿素也相应提高了马铃薯氮肥利用率,以腐殖酸尿素效果最好,含锌尿素次之,而氮肥农学效率以腐殖酸尿素和控失尿素效果较好。郭晓彦等^[21]人在水稻上的研究表明控失尿素、含锌尿素有相对较高的氮肥利用率。另有研究表明腐殖酸尿素和含锌尿素能促进氮素在水稻体内的吸收和积累,从而提高了水稻氮肥的利用率,其中腐殖酸尿素的氮素表观利用率高达 59.2%^[22]。大量研究表明,腐殖酸尿素延缓了氮素在土壤中的释放,有效提高土壤脲酶活性和铵态氮含量,增加作物产量和氮素吸收量,从而提高肥料利用率^[20,22-23]。有学者对玉米的研究表明,聚能网尿素增产效果最好,较其他尿素,有效增加了玉米百粒重、穗粒数等,在氮素吸收和肥料利用率上表现突出^[24],与本试验结论不一致。这可能是因为作物种类不同,其养分需求规律,植物各器官分配比例不同造成的,也可能与土壤养分和田间管理等因素有关。因此,在农业生产中,肥料的选择和施用应结合作物自身需肥规律、土壤养分和管理措施等综合因素。综合本试验中马铃薯产量和肥料利用率来看,在陕北地区以腐殖酸尿素和控失尿素效果最优。

参 考 文 献:

- [1] 宋红梅,李廷亮,刘洋,等.我国近 20 年主要粮食作物产量、进出口及化肥投入变化特征[J].水土保持学报,2023,37(1):332-339.
- [2] 吴晨光,张冬明.不同施肥方式对水稻产量及肥料利用率的影响[J].热带农业科学,2023,43(9):1-6.
- [3] 杜昌文,周健民.控释肥料的研制及其进展[J].土壤,2002(3):127-133.
- [4] 卫中华,张树学,徐海林.农用化肥对环境的影响[J].北方环境,2002(1):38-39.
- [5] 李欠欠,李雨繁,高强,等.传统和优化施氮对春玉米产量、氮挥发及氮平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(3):571-579.
- [6] 郑春风,任伟,车军,等.氮肥减量施用对冬小麦产量及经济效益的影响[J].山西农业科学,2019,47(1):56-60.
- [7] 赵欣楠,杨君林,冯守疆.新型尿素在甘肃省马铃薯上的应用研究[J].甘肃农业科技,2017(7):54-57.
- [8] 陈阳阳.中国新型肥料的研究进展及在马铃薯上的应用潜力[A].中国作物学会马铃薯专业委员会.马铃薯产业与脱贫攻坚(2018)[C].云南:中国作物学会马铃薯专业委员会,2018:5.
- [9] 郑贝贝,赵威,刘松涛,等.不同新型尿素与普通尿素减氮配施对夏玉米氮利用、产量及土壤氮平衡的影响[J].江苏农业科学,2024,52(2):90-97.
- [10] 李志国,张润花,陈防.控失尿素对水旱轮作下水稻产量和氮素利用效率的影响[J].中国土壤与肥料,2018(1):23-27.
- [11] 姚单君,张爱华,杨爽.新型氮肥对水稻产量养分积累及吸收利用的影响[J].西南农业学报,2018,31(10):2121-2126.
- [12] 李万涛,王开勇,苏继霞.新型肥料对棉花产量及土壤物化性质的影响[J].水土保持学报,2018,32(4):268-272.
- [13] 岳克,马雪,宋晓.新型氮肥及施氮量对玉米产量和氮素吸收利用的影响[J].中国土壤与肥料,2018(4):75-81.
- [14] 张怀杰,胡铁军,许熔熔.稳定性氮肥对甬优 15 经济性状和肥料利用率的影响[J].浙江农业科学,2024,65(3):531-535.
- [15] 洪瑜,赵营,王芳.控释肥在宁夏灌淤土中的氮素释放特征研究[J].中国土壤与肥料,2018(5):64-69+114.
- [16] 华玉晨,解国庆,范书华,等.氮肥减施对不同品种马铃薯生长发育的影响[J].中国马铃薯,2023,37(4):329-337.
- [17] 李源,张炎,哈丽哈什·依巴提.新型尿素对膜下滴灌棉花产量及氮肥利用率的影响[J].江苏农业学报,2019,35(1):85-90.
- [18] 李亚莉,张炎,胡国智,等.新型尿素对新疆哈密瓜产量、品质及氮肥利用的影响[J].新疆农业科学,2018,55(10):1888-1894.
- [19] 张爱华,张钦,杨爽.新型尿素对玉米产量及养分积累、利用的影响[J].玉米科学,2018(1):1-8.
- [20] 李春琴,王永成,魏固宁,等.控释尿素在宁南山区马铃薯生产上的应用[J].中国种业,2013(S1):31-32.
- [21] 郭晓彦,潘兹亮,张丽霞,等.施用新型尿素对豫南地区水稻产量及氮肥利用率的影响[J].湖北农业科学,2019,58(15):19-21+131.
- [22] 吴萍萍,李录久,耿言安,等.不同新型肥料对江淮地区水稻生长及氮素吸收利用的影响[J].中国土壤与肥料,2019(3):149-153.
- [23] 王平,付战勇,李絮花.腐植酸对土壤氮素转化及氮挥发损失的影响[J].中国土壤与肥料,2018(4):28-33.
- [24] 庄振东,李絮花.腐植酸氮肥对玉米产量、氮肥利用及氮肥损失的影响[J].腐植酸,2018(4):52.