

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20246

不同施肥量配合纳米碳肥料增效剂对马铃薯产量和品质的影响

范立春¹, 孙磊^{2*}, 王丽华², 姬景红², 高中超², 刘双全², 王爽²

(1. 黑龙江春雨智慧农业科技有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150030;

2. 黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 为了明确钾肥的适宜管理措施和提高钾肥利用率, 采用纳米碳肥料增效剂配合不同施肥量, 对不同施肥方式对马铃薯生长发育、产量、品质和钾肥利用率的影响进行研究。结果显示, 纳米碳配合 70% 常规施肥的株高和主茎粗高于纳米碳配合常规施肥, 纳米碳配合 70% 钾量常规施肥的株高和主茎粗高于纳米碳配合无钾常规施肥; 纳米碳配合 70% 常规施肥的叶片相对叶绿素含量高于其他处理。纳米碳配合 70% 钾量常规施肥产量最高, 其次是纳米碳配合 70% 常规施肥, 纳米碳配合 70% 钾量常规施肥产量仅比纳米碳配合 70% 常规施肥高 0.24%; 纳米碳配合常规施肥较常规施肥产量降低。纳米碳配合 70% 常规施肥和纳米碳配合 70% 钾量常规施肥较其他处理降低马铃薯粗蛋白质含量的效果好, 添加纳米碳肥料增效剂的处理均能提高淀粉含量。纳米碳配合 70% 常规施肥钾肥利用率最高, 达 68.07%, 纳米碳配合 70% 钾量常规施肥的钾肥利用率为 39.74%, 均明显高于常规施肥。综上所述, 减肥 30% 并添加纳米碳肥料增效剂在保证产量和品质的同时, 钾肥利用率优于其他施肥措施。

关键词: 马铃薯; 纳米碳肥料; 产量; 钾肥利用率

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 俗称土豆、洋芋、山药蛋等, 为茄科茄属一年生草本块茎作物, 是重要的粮菜兼用和工业原料作物^[1]。马铃薯块茎普遍有淀粉含量高和产量高等高产优质的特点^[2]。马铃薯是我国四大粮食经济作物之一, 其生产潜能、发展状况等, 对地方农业经济的健康可持续发展意义显著^[3]。然而, 目前马铃薯生产中也存在施肥过量、肥料配比及基追比不合理等现象, 造成马铃薯生产成本增加, 限制了马铃薯的增产和增收^[4]。因此, 在马铃薯稳产的前提下, 如何科学合理施肥, 提高马铃薯肥料利用效率, 是目前马铃薯养分管理实现高产、优质和高效研究的重要内容。

提高肥料利用率, 增强农作物对肥料的吸收利用能力, 从而提高产量是当前农业生产的主要问题。

在原有肥料基础上通过添加某种肥料增效剂达到增效增产作用是提高肥料利用率的新途径^[5-6]。近年来, 已经有一些研究把纳米碳作为肥料增效剂应用到作物上。纳米碳是一种低燃点和非导电的改性碳, 尺度为 5 ~ 80 nm, 可全部溶于水并有快速吸水功能, 能增加水的溶解能力、提高水的细胞生物透性等^[7]。纳米碳能增强植物的光合作用, 增加植物根系吸收养分和水分的能力^[8]。据研究, 选用 5 ~ 50 nm 碳添加到肥料中, 萝卜、白菜、茄子、辣椒、西红柿、芹菜等蔬菜作物有明显的增产效果, 可使蔬菜增产 20% ~ 40%, 与常规肥料相比, 在同等产量水平下可节肥 30% ~ 50%, 有促进蔬菜提早成熟和提高某些营养成分的功能^[9]。薛照文^[10]研究指出纳米碳肥料增效剂在秋马铃薯产量上表现出一定的增产效果, 增产幅度为 0.76% ~ 3.31%, 且具有明显的节肥作用。本试验设置几种不同施肥处理, 对减钾配合纳米碳肥料增效剂对马铃薯生长发育、产量、品质和钾肥利用率的影响进行比较分析, 以便研究在马铃薯产量不降低的前提下, 减少肥料用量能够提高钾肥利用率的最优施肥措施, 为指导区域马铃薯合理施肥提供理论依据。

收稿日期: 2020-05-04; 录用日期: 2020-06-18

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0201803); 黑龙江省应用技术与开发计划重大项目 (GA17B001)。

作者简介: 范立春 (1978-), 男, 辽宁省康平县, 农艺师, 硕士, 从事新型肥料研究。E-mail: bhtfle@163.com。

通讯作者: 孙磊, E-mail: tufeisuosunlei@163.com。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验地概况

试验于 2018 年在哈尔滨市双城市新兴镇进行。试验区域属中温带, 年均气温 3.5℃, 年降水量 533 mm, 无霜期约 135 d。供试马铃薯品种为“海薯 1 号”, 试验土为黑土, 耕层 20 cm, 试验地土壤有机质 4.77%, 碱解氮 410 mg/kg, 有效磷 103 mg/kg, 速效钾 324 mg/kg, pH 6.5。

1.2 试验设计

试验共设 6 个处理, 每处理 3 次重复, 常规施肥 (NPK)、纳米碳配合常规施肥 (C+NPK)、纳米碳配合 70% 常规施肥 (C+0.7NPK)、纳米碳配合无钾常规施肥 (CK)、纳米碳配合 50% 钾量常规施肥 (C+0.5K)、纳米碳配合 70% 钾量常规施肥 (C+0.7K)。常规施肥处理每公顷施氮肥 75 kg, 磷肥 90 kg, 钾肥 120 kg。试验所用氮肥为尿素 (N 46%), 磷肥为重过磷酸钙 (P_2O_5 46%), 钾肥为氯化钾 (K_2O 60%)。试验所用纳米碳肥料增效剂 (以下简称纳米碳) 是利用纳米材料的表面效应、小尺寸效应, 与植物所需的各种营养元素结合形成的一种新型含纳米碳的肥料, 吸附性好, 活化性高。由上海巷田纳米材料有限公司生产, 黑色片状颗粒, 平均粒径 20 nm, 纯度 99.9%。纳米碳用量为肥料的 0.3%, 和肥料混拌施用。

试验采用随机区组设计, 小区长 5 m、宽 8 m, 小区面积 40 m², 株距 25 cm, 行距 80 cm, 小区间距 1 m。于 4 月 25 日播种, 9 月 10 日收获。各处理施肥量见表 1。

表 1 不同处理施肥量 (kg/hm²)

处理	尿素	重过磷酸钙	氯化钾	纳米碳
CK	75	90	0	0.5
C+0.5K	75	90	60	0.68
C+0.7K	75	90	84	0.75
C+NPK	75	90	120	0.86
C+0.7NPK	52.5	63	84	0.6
NPK	75	90	120	0

1.3 测定项目与方法

每处理选择 3 株长势一致的植株, 在块茎形成期 (TIS, 6 月 20 日)、块茎增长期 (TBS, 7 月 25 日) 和淀粉积累期 (SDS, 8 月 21 日) 测量株高和主茎粗, 取平均值。

马铃薯收获时测定产量。

收获 14 d 内进行粗蛋白质、还原糖、干物质、淀粉测定^[11]。

钾肥利用率 = (施肥处理植株吸钾量 - 对照处理植株吸钾量) / 钾肥施用量 × 100%

1.4 数据处理

试验数据采用 SPSS 17.0 与 Excel 2010 软件进行统计分析与作图, 通过 LSD 多重比较法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同施肥对马铃薯形态指标的影响

各施肥处理的株高随生育期的推迟而增加。除 CK 外, 其他处理株高从块茎形成期到块茎增长期表现大幅度增长 (图 1)。在块茎形成期各施肥处理差异不大, C+0.7NPK 处理表现最好, 株高为 34.87 cm。

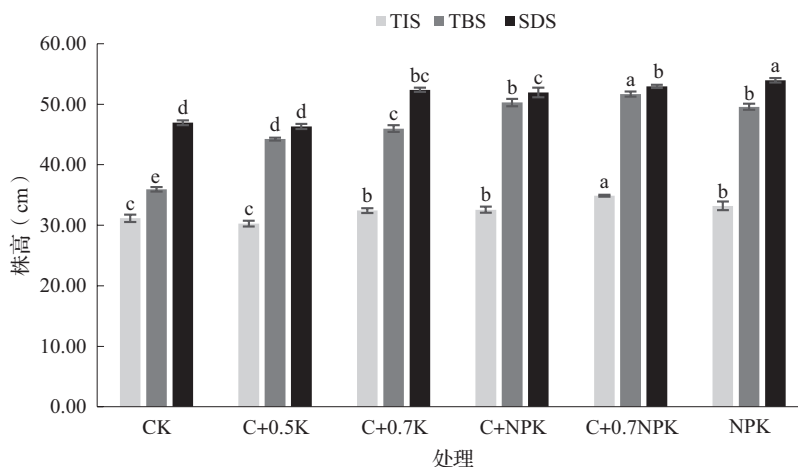


图 1 不同施肥对马铃薯株高的影响

注: TIS: 块茎形成期; TBS: 块茎增长期; SDS: 淀粉积累期。不同小写字母表示差异显著。下同。

在块茎增长期各施肥处理株高表现明显差异, C+0.7NPK 处理株高最高, 为 51.67 cm; C+0.7NPK 处理株高比 C+NPK 和 NPK 处理分别高 2.78% 和 4.24%; C+0.7K 处理株高比 C+0.5K 和 CK 处理分别高 3.93% 和 27.94%。在淀粉积累期 NPK 处理株高比 C+0.7NPK 和 C+NPK 处理分别高 1.89% 和 3.85%, C+0.7K 处理株高比 C+0.5K 和 CK 处理分别高 13.04% 和 11.59%。

各施肥处理的主茎粗随生育期的推迟增加。从

块茎增长期到淀粉积累期, CK 和 C+0.7NPK 处理马铃薯主茎粗不再增加, 其他处理表现为小幅度增加 (图 2)。在块茎形成期, C+NPK 和 C+0.7NPK 处理较 NPK 处理分别高 15% 和 7.5%。在块茎增长期, C+0.7NPK 处理主茎粗比 C+NPK 和 NPK 处理分别增加 0.11% 和 3.33%, C+0.7K 处理主茎粗比 C+0.5K 和 CK 处理分别增加 6.97% 和 9.52%。在淀粉积累期 C+NPK 处理植株主茎粗表现最好。

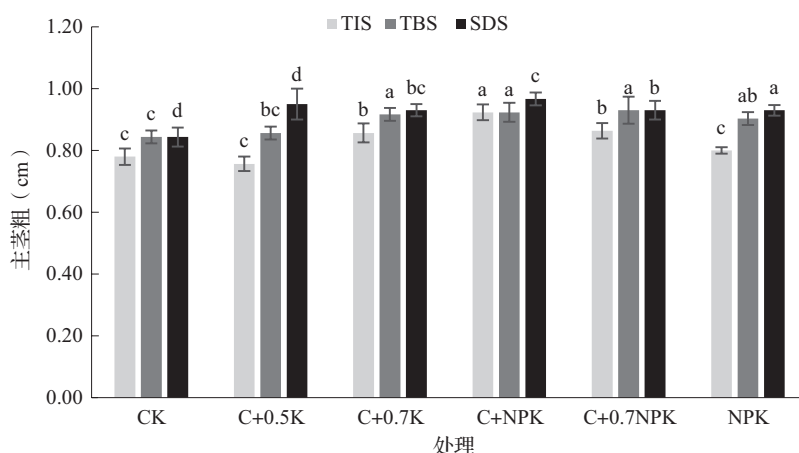


图 2 不同施肥对马铃薯主茎粗的影响

2.2 不同施肥对马铃薯产量的影响

由表 2 可知, 各施肥处理马铃薯产量差异达到显著水平。C+0.7K 处理产量最高, 为 24525 kg/hm², 比 NPK 处理增产 1905 kg/hm², 增产率为 8.42%; 其次是 C+0.7NPK 处理, 为 24465 kg/hm², 比 NPK 处理增产 1845 kg/hm², 增产率为 8.16%, C+0.7K 处理产量仅比 C+0.7NPK 处理高 0.24%; C+0.5K 处理比 NPK 处理增产 3.38%; C+NPK 处理比 NPK 处理减产 13.33%; CK 处理比 NPK 处理减产 17.04%, 说明钾肥对马铃薯产量形成是必不可少的。与 CK 处理相比, 各施肥处理均有不同程度增产, 增产范围为 4.48% ~ 30.70%, 其中 C+0.7NPK 和 C+0.7K 增产幅度较高, 分别为 30.38% 和 30.70%。

表 2 不同施肥对马铃薯产量的影响

处理	产量 (kg/hm ²)	比 NPK 处理增产 (kg/hm ²)	比 NPK 处理增产 (%)	比 CK 处理增产 (kg/hm ²)	比 CK 处理增产 (%)
CK	18765 ± 1665d	-3855	-17.04	—	—
C+0.5K	23385 ± 1207b	765	3.38	4620	24.62
C+0.7K	24525 ± 805a	1905	8.42	5760	30.70
C+NPK	19605 ± 1214c	-3015	-13.33	840	4.48
C+0.7NPK	24465 ± 26b	1845	8.16	5700	30.38
NPK	22620 ± 1992b	—	—	3855	20.54

2.3 不同施肥对马铃薯品质的影响

与 CK 处理相比, C+0.5K 和 C+0.7K 处理粗蛋白质含量分别降低 0.44% 和 5.78%。与 NPK 处理相比, C+NPK 和 C+0.7NPK 处理粗蛋白质含量分别降低 10.31% 和 20.94%。各施肥处理对还原糖影响不大。添加纳米碳的肥料处理淀粉含量显著高于 CK 和 NPK 处理。C+0.5K 和 C+0.7K 处理淀粉含量较 CK 处理分别高 33.23% 和 24.97%, C+NPK 和 C+0.7NPK 处理淀粉含量较 NPK 处理分别高 24.20% 和 40.57%。

表 3 不同施肥对马铃薯品质的影响 (%)

处理	粗蛋白质	还原糖	淀粉
CK	2.25 ± 0.17b	0.07 ± 0.01b	9.93 ± 0.09e
C+0.5K	2.24 ± 0.05b	0.05 ± 0.01d	13.23 ± 0.42b
C+0.7K	2.12 ± 0.07b	0.08 ± 0.01a	12.41 ± 0.08c
C+NPK	2.87 ± 0.06a	0.06 ± 0.01c	12.01 ± 0.06d
C+0.7NPK	2.53 ± 0.10a	0.05 ± 0.01d	13.72 ± 0.05a
NPK	3.20 ± 0.20a	0.04 ± 0.01d	9.76 ± 0.06f

2.4 不同施肥对马铃薯钾肥利用率的影响

通过钾肥利用率公式计算, 得出结果见表 4。C+NPK 和 C+0.7NPK 处理块茎吸收钾量分别比 NPK

处理高 15.62% 和 18.14%; 与 CK 相比, C+0.7K 处理块茎吸收钾量增加, C+0.5K 处理减少。与 NPK 相比, C+0.7NPK 处理秸秆吸收钾量增加, C+NPK 处理秸秆吸收钾量减少; 与 CK 处理相比, C+0.5K 和 C+0.7K 处理秸秆吸收钾量分别增加 43.23% 和 30.38%。各施肥处理植株总吸收钾量表现为 C+0.7NPK>C+NPK>NPK>C+0.7K>C+0.5K>CK。

各处理中 C+0.7NPK 钾肥利用率最高, 达 68.07%, 其次是 C+0.7K 处理, 钾肥利用率 39.74%, 再次是 C+NPK 处理, 钾肥利用率 39.02%。C+0.5K 处理钾肥利用率最低, 为 18.55%。

表 4 不同施肥对马铃薯钾肥利用率的影响

处理	块茎吸收 钾量 (kg/hm ²)	秸秆吸收 钾量 (kg/hm ²)	植株总吸收 钾量 (kg/hm ²)	钾肥 利用率 (%)
CK	98.88 ± 1.25e	48.42 ± 0.78c	147.30 ± 0.63c	—
C+0.5K	89.08 ± 6.74e	69.35 ± 4.03a	158.43 ± 9.09c	18.55
C+0.7K	117.56 ± 3.22c	63.13 ± 2.40b	180.68 ± 0.83b	39.74
C+NPK	133.66 ± 9.03b	60.47 ± 7.38c	194.13 ± 14.33ab	39.02
C+0.7NPK	136.57 ± 6.74a	67.91 ± 1.73a	204.48 ± 7.90a	68.07
NPK	115.60 ± 3.28d	67.27 ± 2.58b	182.87 ± 5.77b	29.64

3 讨论

3.1 纳米碳对马铃薯植株生长的影响

纳米碳肥料增效剂能促进植株生长发育, 植株增高、生长势强。王艳等^[12]研究在大豆上应用纳米碳指出, 施用纳米碳增效肥的大豆苗期株高比普通肥增高 20%, 叶片大 30%。在出苗后 0 ~ 40 d, 马铃薯以地上部生长为主, 株高和主茎粗增加。块茎在出苗 40 d 后逐渐形成, 然后迅速膨大, 株高和主茎粗增加缓慢。马铃薯经过快速生长进入淀粉积累期, 块茎增加缓慢, 甚至停止增重^[13]。在本研究中, 70% 常规施肥配合纳米碳和 70% 钾量配合纳米碳提高马铃薯株高的效果较好。在块茎形成期, 纳米碳配合 70% 常规施肥和纳米碳配合常规施肥主茎粗较大, 块茎增长期纳米碳配合 70% 钾量常规施肥的主茎粗表现较好, 说明肥料配合纳米碳施用可以健壮植株。

3.2 纳米碳对马铃薯产量的影响

科学合理的钾肥运筹能显著改善作物的生长, 提高作物产量^[14], 进而提高经济效益, 既能维持地力, 不会使土壤养分库消耗太多导致土壤贫瘠, 也不会因养分携出量较少而导致土壤养分累积过高^[15], 又能减少环境影响^[16]。而过量的施肥会抑

制作物产量及经济效益的增加。本研究中, 纳米碳配合 70% 钾量常规施肥和纳米碳配合 50% 钾量常规施肥产量明显高于纳米无钾常规施肥, 施钾显著增加马铃薯产量, 与李飞等^[17]研究结果一致。纳米碳配合 70% 钾量常规施肥较对照增产 8.42%, 纳米碳配合 70% 常规施肥较对照增产 8.16%, 肥料施用比例不同增产效果也不同, 与薛照文^[10]研究结果相似。纳米碳常规施肥产量低于纳米碳配合 70% 常规施肥, 在配合肥料增效剂的情况下, 施肥量大, 导致马铃薯贪青晚熟, 产量反而降低。纳米碳常规施肥产量低于常规施肥, 可能是由于试验过程中操作不当造成, 需进一步验证。

3.3 纳米碳对马铃薯品质的影响

粗蛋白质、还原糖和淀粉含量等指标是评判马铃薯品质高低的重要依据^[18]。刘健等^[8]和马筠等^[19]研究指出, 纳米增效肥料使小麦蛋白质含量减少 7.52%。本研究中, 添加纳米碳肥料均能降低马铃薯粗蛋白质含量, 其中纳米碳配合 70% 钾量常规施肥比纳米碳配合 70% 常规施肥降低马铃薯粗蛋白质含量的效果更好。添加纳米碳的各肥料处理淀粉含量显著高于纳米无钾常规处理和常规施肥处理, 其中纳米碳配合 50% 钾量常规施肥和纳米碳配合 70% 常规施肥显著提高马铃薯淀粉含量。

3.4 纳米碳对钾肥利用率的影响

本研究中施用纳米碳的各处理钾肥利用率均高于常规施肥, 纳米 70% 常规施肥钾肥利用率最高, 其次是纳米 70% 钾量常规施肥处理, 纳米 50% 钾量常规施肥处理钾肥利用率最低, 说明纳米碳具有提高钾肥肥效的效果。主要可能是纳米碳具有表面效应和小尺寸效应, 能增强植物对肥料的吸附功能, 减少肥料的流失、淋失和固定^[20], 另外纳米碳在土壤中遇水后变成超导体, 提高了土壤的电位差和离子游离动力, 加速土壤溶液中离子的传导, 纳米碳在土壤中吸附阳离子, 形成以纳米碳为胶核的新的胶体颗粒^[21], 同时进行土壤微团聚体重组, 释放土壤养分, 能增强植株对土壤养分、肥料养分吸收的激发或诱导效应^[22], 从而提高钾肥利用率, 具有节肥功能。薛照文^[10]在秋马铃薯上应用纳米碳的研究中, 节肥量可达 10% ~ 40%。本研究中, 纳米碳配合常规施肥较常规施肥钾肥利用率仅高 9.38 百分点, 由于植株总吸钾量仅提高 6.16%, 块茎吸钾量的增加是植株总吸钾量增加的主要贡献, 说明配合施用纳米碳肥效时间长, 满足马铃薯生育

后期对钾元素的需求。

4 结论

本研究中几种施肥处理, 纳米碳配合 70% 钾量常规施肥和纳米碳配合 70% 常规施肥处理株高、主茎粗、产量、品质和钾肥利用率均较其他处理表现好。但纳米碳配合 70% 常规施肥较纳米碳配合 70% 钾量常规施肥, 氮肥量和磷肥量较少的同时, 钾肥利用率有所提高。综上所述, 减肥 30% 并添加纳米碳肥料增效剂在保证产量和品质的同时, 能够提高钾肥利用率, 适合区域内推广使用。

参考文献:

- [1] 李竞才, 田振东, 柳俊, 等. 马铃薯晚疫病抗性研究进展 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2012.
- [2] 曾钰婷, 许娟妮, 尼玛卓嘎, 等. 不同施肥组合对马铃薯产量及品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47 (24): 165-166, 212.
- [3] 苏建华. 马铃薯种植与配方施肥技术 [J]. 农业开发与装备, 2019 (10): 160.
- [4] 段玉, 张君, 李焕春, 等. 马铃薯氮磷钾养分吸收规律及施肥肥效的研究 [J]. 土壤, 2014, 46 (2): 212-217.
- [5] 张夫道, 赵秉强, 张骏, 等. 纳米肥料研究进展与前景 [J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8 (2): 254-255.
- [6] Shaviv A, Smadar R, Zaidel E. Model of diffusion release from polymer coated granular fertilizers [J]. Environmental Science & Technology, 2003, 37: 2251-2256.
- [7] 肖强, 张夫道, 王玉军, 等. 纳米材料胶结包膜型缓/控释肥料特性及对作物氮素利用率与氮素损失的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14 (4): 779-785.
- [8] 刘健, 张阳德, 张志明. 纳米增效肥料对冬小麦产量及品质影响的研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (35): 15578-15580.
- [9] 刘健, 张阳德, 张志明. 纳米生物技术促进蔬菜作物增产应用研究 [J]. 湖北农业科学, 2009, 48 (1): 123-127.
- [10] 薛照文. 纳米碳肥料增效剂在秋马铃薯上的应用试验 [J]. 农业科技通讯, 2015 (9): 104-106.
- [11] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007. 166-169.
- [12] 王艳, 韩振, 张志明, 等. 纳米碳促进大豆生长发育的应用研究 [J]. 腐植酸, 2010 (4): 17-23.
- [13] 张君, 潘志华, 段玉, 等. 长期定位轮作施肥后对马铃薯产量和水肥利用效率的影响 [J]. 中国农学通报, 2020, 36 (4): 36-43.
- [14] 王秀娟, 袁兴福, 娄春荣, 等. 不同氮钾用量对番茄生长和叶片超微结构的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2014 (3): 44-48.
- [15] 王火焰, 周健民. 肥料养分真实利用率计算与施肥策略 [J]. 土壤学报, 2014, 51 (2): 216-224.
- [16] 巨晓棠. 氮肥有效率的含义及意义—兼论对传统氮肥利用率的误解 [J]. 土壤学报, 2014, 51 (5): 921-933.
- [17] 李飞, 魏全全, 尹旺, 等. 氮钾运筹对高寒地区马铃薯产量、养分吸收及利用的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (1): 58-66.
- [18] Li L, Zhang F, Li X, et al. Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 65 (1): 61-71.
- [19] 马筠, 刘健, 张志明. 纳米增效肥料在冬小麦上的应用研究 [J]. 腐植酸, 2009 (2): 14-20.
- [20] 刘秀梅. 纳米—亚微米级复合材料性能及土壤植物营养效应 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2005.
- [21] 张志明, 刘健, 韩振, 等. 纳米增效肥对杂交稻的增产效果研究 [J]. 腐植酸, 2012 (2): 15-18.
- [22] 杨晓. 纳米增效肥在大豆上应用效果 [J]. 农民致富之友, 2012 (16): 64.

Effect of different fertilization combined with nano carbon fertilizer synergist on yield and quality of potato

FAN Li-chun¹, SUN Lei^{2*}, WANG Li-hua², JI Jing-hong², GAO Zhong-chao², LIU Shuang-quan², WANG Shuang²
(1. Heilongjiang Chunyu Intelligent Agricultural Technology Limited Company, Harbin Heilongjiang 150030; 2. Soil Fertilizer and Environment Resource Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin Heilongjiang 150086)

Abstract: Appropriate fertilizer management was put forward in order to improve the utilization rate of potassium fertilizer, and the effects of different fertilizer combined with nano carbon fertilizer synergist on potato growth, yield, quality and utilization rate of potassium fertilizer were studied by different fertilization treatments. The results showed that the plant height and main stem perimeter of nano carbon combined with 70% conventional fertilization (C+0.7NPK) were higher than nano carbon combined with conventional fertilization (C+NPK), and the plant height and main stem perimeter of nano carbon combined with 70% potassium conventional fertilization (C+0.7K) were higher than CK, and the relative chlorophyll content of C+0.7NPK was higher than other treatments. The yield of C+0.7K was the highest, followed by that with C+0.7NPK. The yield of C+0.7K was only 0.24% higher than C+0.7NPK, C+NPK had lower yields than NPK. Compared with other treatments, the effect of C+0.7NPK and C+0.7K on reducing the crude protein content of potato was better, and the addition of nano carbon fertilizer synergist improved the starch content. The K fertilizer use efficiency of C+0.7NPK and C+0.7K was 68.07% and 39.74%, respectively, and was significantly higher than NPK. In summary, the fertilizer reduction of 30% and the addition of nano carbon fertilizer synergist could ensure the yield and quality, while the K fertilizer use efficiency is better than other fertilization measures.

Key words: potato; nano carbon fertilizer synergist; yield; K fertilizer use efficiency