

施氮量对马铃薯氮素积累分配及利用率的影响

祁驰恒, 魏峭嵘, 田 洵, 石 瑛*

(东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 合理的施肥技术是提高马铃薯产量的主要措施之一。氮肥在马铃薯增产中作用巨大, 但是氮肥的不合理施用通常造成马铃薯产量降低、品质下降、氮肥利用率降低。为合理施用氮肥, 提高马铃薯产量和氮肥利用率, 以鲜食品种‘东农09-33069’为试验材料, 研究不同氮肥施用量对马铃薯氮素积累分配规律及其利用率的影响。结果表明, 马铃薯植株氮含量、氮素积累量随施氮量的增加而升高。随生育期的推移, 马铃薯植株氮素积累量呈先增加后降低的趋势, 氮素在茎和叶片中分配比例逐渐降低, 块茎中氮素分配比例逐渐升高至成熟期的57%~78%。当施氮量超过10 kg/667m²时, 块茎中氮素积累量增加不明显, 块茎氮素分配比例不再增加。马铃薯产量在施氮量13.3 kg/667m²时达到最大值, 氮素吸收利用率、偏生产力、氮肥农学利用率和氮肥生理利用率在施氮量3.3 kg/667m²时取得最大值。

关键词: 马铃薯; 施氮量; 氮含量; 氮素积累量; 氮素利用率

Effects of Nitrogen Application Rate on Nitrogen Accumulation, Distribution and Utilization of Potato

QI Chiheng, WEI Qiaorong, TIAN Xun, SHI Ying*

(College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: Reasonable fertilization technology is one of the main measures to improve the yield of potato. Nitrogen fertilizer has a great effect on increasing yield of potato, but the unreasonable application of nitrogen fertilizer usually resulted in decreasing potato yield, quality and nitrogen utilization efficiency. In order to determine the nitrogen fertilizer rate, improve the yield and nitrogen use efficiency of potato, an experiment was carried out to study the influence on nitrogen accumulation, distribution and nitrogen use efficiency of different nitrogen application rates, using potato variety 'Dongnong 09-33069' as plant material. The results showed that nitrogen content and accumulation in plant increased with increase in nitrogen application rate. With progress of growth stage, nitrogen accumulation in plant showed an increasing trend and decreased later. In addition, Nitrogen distribution in leaf and stem decreased, while in tuber it increased gradually to 57%-78% of maturity. Nitrogen accumulation and distribution in tuber did not change obviously when nitrogen rate was over 10 kg/667m². The maximal production occurred when nitrogen rate was at 13.3 kg/667m². When the application rate of nitrogen was at 3.3 kg/667m², the nitrogen use efficiency was the highest.

Key Words: potato; N application rate; N content; N accumulation; nitrogen use efficiency

收稿日期: 2016-04-13

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-10)。

作者简介: 祁驰恒(1990-), 男, 硕士研究生, 从事马铃薯栽培技术研究。

*通信作者(Corresponding author): 石瑛, 副研究员, 从事马铃薯遗传育种与栽培生理研究, E-mail: yshi@neau.edu.cn。

马铃薯因适应性强、生育期短、光效高、光能利用率强、单产高以及耐旱、耐贫瘠等特点,使其成为一种世界性的栽培作物^[1]。马铃薯富含碳水化合物、蛋白质、纤维素、氨基酸、维生素、胡萝卜素及多种矿物质元素,具有很高的营养价值。中国是马铃薯生产大国,马铃薯生产面积和产量均居世界第1位。2013年马铃薯种植面积约488万hm²,占世界马铃薯种植面积的1/4,总产量达7 086万t,占世界总产量的1/5,但平均单产较低,各地区的单产水平由于各种原因差异非常大^[2]。

马铃薯产量的高低和品质的优劣除受自身的遗传因素和生理特性影响外,还受栽培地区气候、土壤和栽培条件的影响,其中肥料的影响非常大。作物单产的提高有50%归功于合理施肥,氮肥对作物产量及品质的影响远比其他矿质元素肥料都更加重要和明显,氮素对作物最终产量的贡献为40%~50%^[3]。氮素通过2个方面影响马铃薯产量,一方面通过影响主茎和分枝上的叶片叶面积,另一方面通过氮肥的供应能延长上部叶片的寿命^[4]。缺少氮素会导致马铃薯群体叶面积下降、减产,但过量施用氮肥会导致茎叶徒长,影响光合效率,延迟块茎成熟,块茎干物质含量下降^[5]。适量、合理地施用氮肥不仅能够增加马铃薯产量,提高品质,降低成本,提高氮肥利用率,还能避免或减少由于过量施氮给环境带来的负面影响^[6]。

本试验在前人研究基础上,以提高马铃薯产量和氮肥利用率为目标,通过设置不同氮肥施用量,研究了不同氮肥处理下马铃薯氮素积累分配规律及氮素利用率,确定马铃薯高效氮肥管理模式,为马铃薯合理施肥提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于2014年在东北农业大学香坊植物类试验实习基地进行,试验地土壤类型为黑钙土,前茬为玉米。供试材料为中早熟鲜食品种‘东农09-33069’。

试验设6个施氮处理N0、N1、N2、N3、N4、N5,各处理依次施纯氮0, 3.3, 6.7, 10, 13.3和16.7 kg/667m²,各处理统一施K₂O 9.2 kg/667m²、

P₂O₅ 5 kg/667m²。每处理设3次重复,采用随机区组设计,每小区11行,垄距70 cm,株距30 cm,行长6 m。每个小区去除边际2行留4行测产,5行取样。供试肥料为尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P₂O₅ 43%)、硫酸钾(K₂O 50%)。所有肥料作为基肥于4月29日播种时1次性按行施入。其他管理同一般大田。

1.2 取样及测定方法

全生育期于6月16日(苗期)、7月3日(块茎形成期)、7月17日(块茎膨大期)、8月1日(淀粉积累期)和8月16日(成熟期)共取样5次。按器官不同部位分叶片、地上茎、块茎称鲜重后于105℃杀青30 min,然后80℃下烘干至恒重后称干重。植株各器官全氮含量用凯氏定氮法进行测定。

1.3 数据处理

试验数据采用Office 2013处理, Sigmaplot 10.0作图, DPS 7.05软件统计分析。

1.4 数据计算公式

氮素积累量 = 干物质积累量 × 全氮含量

氮素农学利用率(NAE)(%) = (施氮区块茎产量 - 空白区块茎产量) / 施氮量 × 100

氮素吸收利用率(NRE)(%) = (施氮区地上部吸氮量 - 空白区地上部吸氮量) / 施氮量 × 100

氮素生理利用率(NPE)(%) = (施氮区块茎产量 - 空白区块茎产量) / (施氮区地上部吸氮量 - 空白区地上部吸氮量) × 100

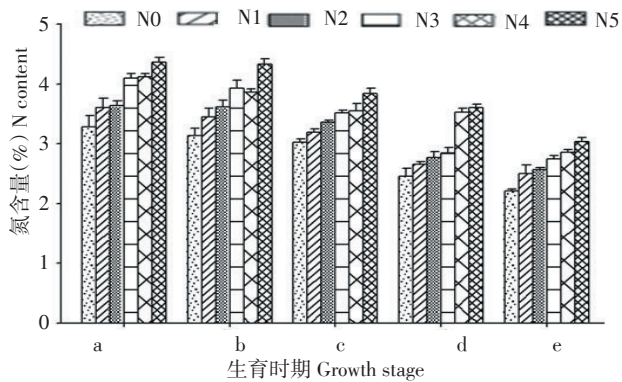
氮肥偏生产力(NPFP)(kg/kg) = 施氮区产量 / 施氮量。

2 结果与分析

2.1 施氮量对马铃薯各器官氮含量的影响

由图1~4可知,在整个生育期内,马铃薯各器官氮含量表现为叶片 > 茎 > 块茎,叶片、茎、块茎氮含量变化区间分别为2.2%~4.4%、0.9%~3.4%、0.8%~1.3%,全株氮含量变化在1.3%~3.9%。马铃薯各器官氮含量随生育时期的推进呈逐渐降低的趋势。

各生育期马铃薯各器官氮含量随施氮量增加呈增加的趋势,表现为N5 > N4 > N3 > N2 > N1 > N0。块茎形成期各处理马铃薯全株氮含量较苗期下降32%~40%,此后下降幅度在10%左右。淀粉



a—苗期;b—块茎形成期;c—块茎膨大期;d—淀粉积累期;e—成熟期。误差线为标准误。下同。

a—Seedling; b—Tuber initiation; c—Tuber bulking; d—Starch accumulation; e—Maturity. Error bar is SE. The same below.

图1 施氮量对马铃薯叶片氮含量的影响

Figure 1 Effect of N application rate on N content of potato leaf

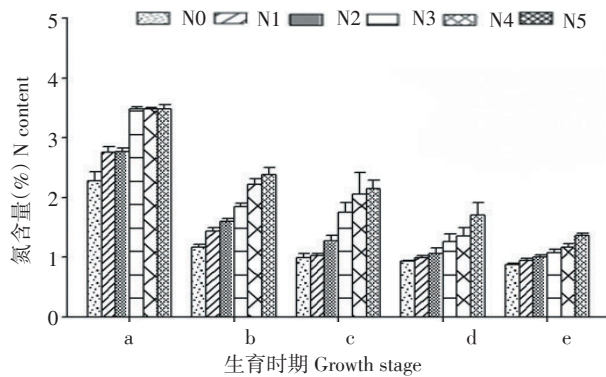


图2 施氮量对马铃薯茎氮含量的影响

Figure 2 Effect of N application rate on N content of potato stem

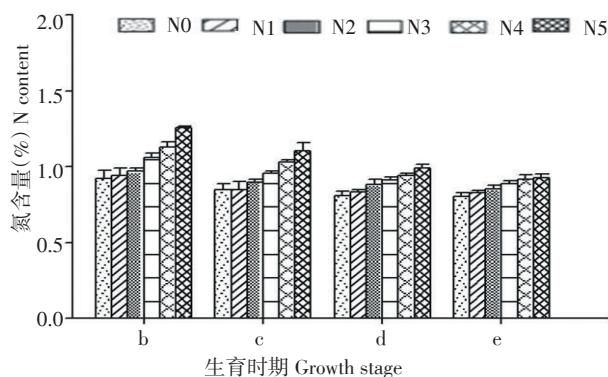


图3 施氮量对马铃薯块茎氮含量的影响

Figure 3 Effect of N application rate on N content of potato tuber

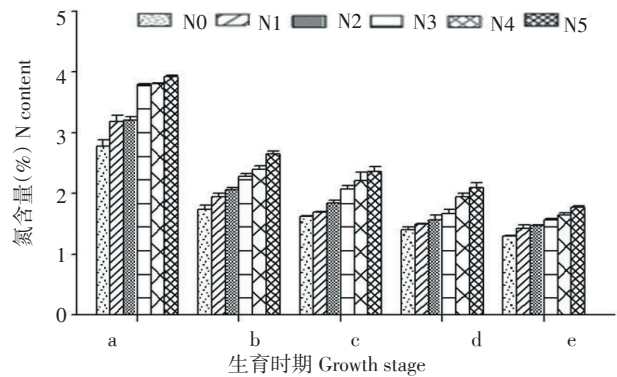


图4 施氮量对马铃薯全株氮含量的影响

Figure 4 Effect of N application rate on N content of potato plant

积累期叶片氮含量在N0、N1、N2、N3处理下较块茎膨大期下降20%左右, N4、N5处理下分别仅下降1%和6%。苗期至块茎形成期, 茎氮含量下降30%以上, 有利于茎的生长, 块茎膨大期N4、N5处理下茎氮含量较N0增加106%、114%, 淀粉积累期N4、N5处理下茎氮含量较N0增加50%、90%。成熟期各施氮处理与对照N0相比, N1、N2、N3、N4和N5处理块茎氮含量依次提高2%、8%、10%、14%和17%。可见, 增加施氮量可增加马铃薯各器官氮含量, N4、N5处理下地上部氮含量在生育后期下降幅度较小, 从而影响了氮素向块茎的转移, 影响块茎的产量。

2.2 施氮量对马铃薯氮素积累的影响

2.2.1 施氮量对马铃薯氮素积累量的影响

由图5可以看出, 马铃薯植株氮素积累量变化趋势在整个生育期呈先增加后降低的变化趋势, 在苗期全株氮素积累量增加缓慢, 块茎形成期至块茎膨大期植株氮素积累量直线上升, 淀粉积累期达到峰值, 进入成熟期后, 植株叶片与茎开始逐渐衰老、脱落, 发生氮素转移和流失, 全株氮素积累量开始下降。叶片、茎中氮素积累量随生育期的推进呈单峰曲线变化趋势, 在块茎膨大期达全生育期高峰, 淀粉积累期茎与叶片中氮素积累量逐渐下降。块茎中氮素积累量随生育进程的推移而持续升高, 在成熟期块茎氮素积累量达全生育期最高6.4 kg/667m²。不同生育期, 马铃薯各器

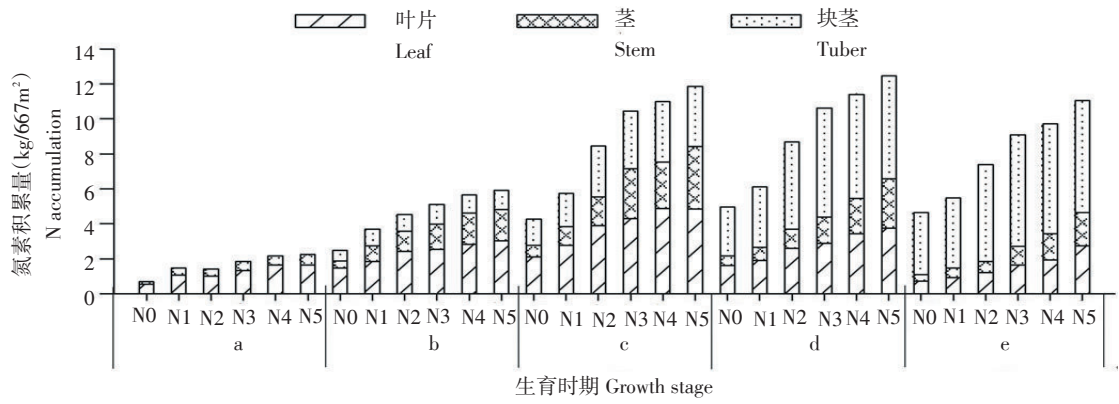


图5 施氮量对马铃薯氮素积累量的影响

Figure 5 Effect of N application rate on N accumulation of potato

官中氮素积累量变化幅度因施氮量不同而异, 随施氮量的增加, 植株氮素积累量与地上部各器官中氮素积累量提高。块茎中氮素积累量在一定施氮量范围内随施氮量的增加而提高, 当施氮量超过 10 kg/667m²时, 块茎中氮素积累量差异不明显。

2.2.2 施氮量对马铃薯氮素吸收速率的影响

由表1可知, 马铃薯植株氮素的吸收速率呈现慢—快—慢的变化趋势, 在块茎膨大期达最大值。苗期至块茎膨大期氮素吸收速率随施氮量的增加而增加, 且处理间有显著差异。块茎膨大期马铃薯对氮素的吸收量最大, 吸收速率最快, 与块茎形成期相比增幅较大, N3、N4、N5处理氮素吸收速率依

次提高 0.189, 0.165 和 0.194 kg/667m² · d, N0、N1处理氮素吸收速率显著低于其他施氮处理, 而N3、N4、N5处理间无显著性差异。淀粉积累期氮素吸收速率逐渐下降, 而高氮处理(N5)氮素吸收速率仍然较高, 这势必造成植株对氮素的奢侈吸收, 导致马铃薯的贪青晚熟, 影响产量。可见, 当施氮量达 10 kg/667m²时, 继续增加施氮量对氮素吸收速率的提高不显著, 过量施氮影响块茎生长。

2.3 施氮量对马铃薯氮素分配的影响

氮素在马铃薯各器官的分配比例随生育进程发生变化, 不同施氮量对马铃薯各器官氮素分配比例有影响。从图6看出, 在整个生育期, 叶片中氮素

表1 施氮量对马铃薯氮素吸收速率的影响(kg/667m² · d)

Table 1 Effect of N application rate on N uptake rate of potato

处理 Treatment	苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber initiation	块茎膨大期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation
N0	0.043 e	0.113 c	0.118 c	0.050 ab
N1	0.092 cd	0.138 bc	0.148 c	0.036 b
N2	0.089 cd	0.188 ab	0.280 b	0.044 ab
N3	0.115 bc	0.193 ab	0.382 ab	0.011 b
N4	0.135 ab	0.218 a	0.383 ab	0.023 b
N5	0.140 a	0.229 a	0.423 a	0.102 a

注: 同列标不同小写字母表示 0.05 显著水平, 采用新复极差法, 下同。

Note: Means followed by different small letters indicate 0.05 level of difference as tested using Duncan's multiple range test. The same below.

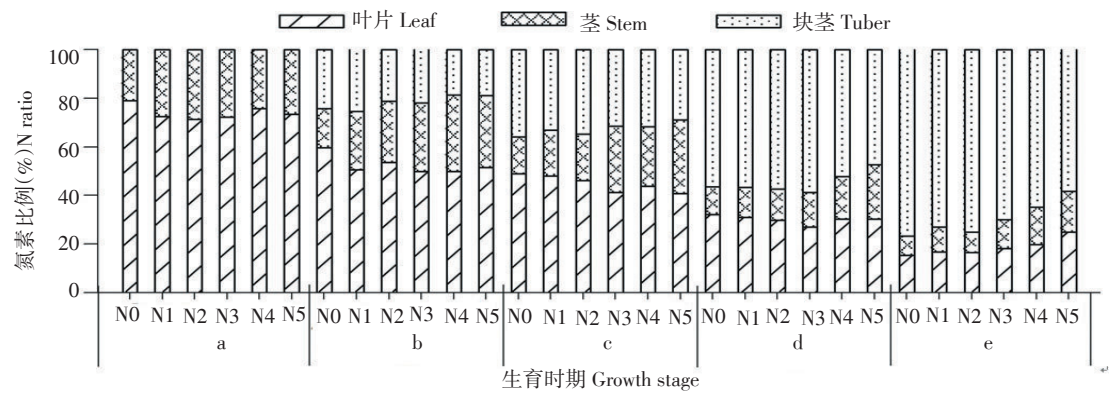


图6 施氮量对马铃薯氮素分配的影响

Figure 6 Effect of N application rate on N distribution of potato

的分配比例随生育进程推移呈下降趋势，从苗期的70%以上下降到成熟期的19%左右。氮素在茎中分配比例呈单峰曲线变化，苗期至块茎形成期缓慢增加，并在块茎形成期达到最大，之后逐渐下降。块茎形成后，马铃薯的生长中心发生转移，氮素在块茎中的分配比例一直呈上升的趋势，从块茎形成期的18%~24%逐渐增加到成熟期57%~78%。在块茎膨大期之前，氮素的分配比例始终以植株地上部器官为主，块茎膨大期之后，氮素的分配比例让位于块茎，至成熟期氮素在各器官中的分配比例表现为块茎>叶片>茎。

苗期施氮量对氮素分配比例影响不大，苗期至淀粉积累期氮素在叶片中的氮素分配比例随施氮量的增加呈下降的趋势，而成熟期随施氮量的增加而升高。整个生育期氮素在茎中的分配比例随施氮量

的增加而增加。块茎形成期后，氮素在茎及叶中的分配比例随施氮量的增加呈先降低后升高的变化趋势，在N3处理出现低峰，与此相反，各生育时期氮素在块茎中的分配比例随施氮量的增加而降低，在N3处理达到高峰。高氮处理(N5)块茎氮素分配比例均低于其他施氮处理，而茎、叶片氮素分配比例高于其他施氮处理，在成熟期较为明显，N5处理茎及叶片氮素分配比例达到41.6%，而块茎氮素分配比例仅为58.4%。由此看出，适宜的氮肥用量能够促进氮素从茎叶向块茎的转移，过高的氮肥使用量不利于地上部氮素向块茎的转运。茎与叶片氮素分配比例的升高，容易造成茎叶徒长，从而影响块茎的生长。

2.4 施氮量对马铃薯产量及氮素利用率的影响

由表2可知，马铃薯的产量随氮肥施用量的增

表2 施氮量对马铃薯产量及氮素利用率的影响

Table 2 Effects of N application rate on yield and N use efficiency of potato

处理 Treatment	产量(kg/667m ²) Yield	NRE(%)	NPFP(kg/kg)	NAE(%)	NPE(%)
N0	1 614 d	—	—	—	—
N1	2 332 c	48.7 a	707 a	218 a	657 a
N2	2 599 bc	44.3 ab	388 b	147 ab	355 b
N3	2 938 b	43.8 ab	294 c	132 b	302 b
N4	3 409 a	35.8 b	256 c	135 b	376 b
N5	2 586 bc	33.9 b	155 d	58 c	171 c

加呈先增加后降低的变化趋势,不施氮处理马铃薯产量为1 614 kg/667m²,显著低于其他施氮处理。N4处理下达到最高产量3 409 kg/667m²,与其他氮肥处理达到显著水平,分别较N0、N1、N2、N3增产111%、46%、31%、16%,较N5显著增产31%。NRE、NPFP、NAE、NPE随施氮量的增加呈降低的趋势,在N1处理下达到最大值,高于其他施氮处理。N2、N3、N4、N5处理间NRE差异不显著;N3、N4处理下NPFP显著低于N2处理,又显著高于N5处理,而N3、N4之间无显著差异;N2、N3、N4处理之间NAE与NPE差异不显著,而显著高于N5处理。综上可知,N1处理下氮素利用率最高,其次为N2,N5最低,说明施氮量越高,氮素利用率越低。

3 讨 论

整个生育期,马铃薯各器官氮含量呈由高到低的变化趋势,且各器官氮含量表现为:叶片>茎>块茎,这与刘克礼等^[7]研究相一致。各生育期马铃薯各器官氮含量的变化因施氮量不同而异,增加施氮量可增加马铃薯各器官的氮含量,但高氮处理(N4、N5)在块茎膨大期至淀粉积累期下降幅度较小,这有利于氮素在块茎中积累与块茎生长。马铃薯氮素积累量在全生育期的变化趋势与李利^[8]研究相一致,即随生育进程的推移逐渐增加,在淀粉积累期达到最大,之后有下降的趋势。氮素在马铃薯各器官的分配比例随着生长中心的转移而发生变化,前期主要分配在茎和叶片,中后期主要分配在块茎中,而块茎形成期氮素在块茎中的分配率达到20%左右,高于张宝林等^[9]的研究,主要与早熟马铃薯的生长特性有关。

植株体内的氮素积累量随施氮量增加不断提高,当施氮量达到10 kg/667m²时,继续增加施氮量,不仅块茎中氮素的积累量增加不明显,反而会

降低氮素在块茎中的分配比例。除此之外,高氮处理(N5)不仅使植株在生育后期有较高的氮素吸收速率,还降低了氮素在块茎中的分配,容易造成植株徒长、贪青晚熟,从而影响块茎的生长。在本次试验中,马铃薯氮素利用率在N1时达到最大值,但马铃薯产量较低,仅为2 332 kg/667m²。N4处理马铃薯产量达到最大值,N3处理下马铃薯产量为2 938 kg/667m²,仅低于N4处理,且N3、N4处理间氮素吸收速率、氮素利用率无显著性差异。因此,施氮量10~13.3 kg/667m²可作为该马铃薯品种在当地施氮量的指导,也可为当地马铃薯施氮量提供参考。

[参 考 文 献]

- [1] 谭宗九,丁明亚,李济宸.马铃薯高效栽培技术[M].北京:金盾出版社,2010.
- [2] 吉玮蓉,张吉立,孙海人.不同施氮量对马铃薯养分吸收及产量与品质的影响[J].湖北农业科学,2013,52(21): 5158-5160, 5166.
- [3] 吴巍,赵军.植物对氮素吸收利用的研究进展[J].中国农学通报,2010,26(13): 75-78.
- [4] 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.
- [5] Vos J, Putten P E L. Effect of nitrogen supply on leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in potato[J]. Field Crops Research, 1998, 59(1): 63-72.
- [6] 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, 43.
- [7] 刘克礼,高聚林,任珂,等.旱作马铃薯氮素的吸收、积累和分配规律[J].中国马铃薯,2003,17(6): 321-325.
- [8] 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.
- [9] 张宝林,高聚林,刘克礼,等.马铃薯氮素的吸收、积累和分配规律[J].中国马铃薯,2003,17(4): 193-198.