

中图分类号: S532; S275 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2013)01-0042-06

追氮对膜下滴灌马铃薯氮素吸收积累规律及利用效率的影响

梁 潇, 张 胜*, 蒙美莲*, 岳红丽, 刘文璐

(内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘 要: 以紫花白为试验材料, 研究了不同追氮处理对膜下滴灌马铃薯氮素吸收积累规律及其利用效率。结果表明: 随施氮量的增加, 马铃薯对氮素的吸收和积累都呈增加趋势, 而氮肥利用率及生产效率都呈递减趋势; 施氮量为 270.0 kg/hm² 时, 马铃薯氮素含量、累积吸收量最大; 施氮量为 67.5 kg/hm² 时, 氮素利用效率最高; 而施氮量为 202.5 kg/hm² 时, 产量最高。马铃薯块茎产量与氮素吸收量、氮素利用率存在显著正相关, 而与施氮量相关不显著, 氮素吸收量与施氮量呈极显著正相关。

关键词: 马铃薯; 覆膜; 滴灌; 氮素利用效率

Effects of N Additional Fertilization on Nitrogen Absorption and Accumulation and Use Efficiency of Potato Under Mulched Drip Irrigation

LIANG Xiao, ZHANG Sheng*, MENG Meilian*, YUE Hongli, LIU Wenlu

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

Abstract: Nitrogen absorption, accumulation and utilization efficiency were studied of potato cv. Zihuabai for various treatments of N additional fertilization under mulched drip irrigation conditions. With the application rate of nitrogen increasing, potato nitrogen absorption and accumulation increased, while nitrogen use efficiency and production efficiency decreased. When the application rate of nitrogen was at 270.0 kg/ha, the potato nitrogen content and cumulative absorption reached maximum; when the application rate of nitrogen was at 67.5 kg/ha, the nitrogen use efficiency was the highest; and when the application rate of nitrogen was at 202.5 kg/ha, the production was the highest. Potato production was significantly and positively correlated to N uptake and N use efficiency, but not to N application rate. N uptake was highly significantly and positively correlated to N application rate.

Key Words: potato; mulching; drip irrigation; nitrogen use efficiency

内蒙古中西部地区马铃薯栽培从广种薄收的粗放种植, 逐渐发展到目前旱地不覆膜、旱地覆膜、传统水浇地种植、膜下滴灌、喷灌及中棚种植等多种栽培模式共存阶段^[1]。许多报道表明, 膜下滴灌对马铃薯的地上部生长、块茎产量和品质(淀粉和还原糖含量)、水分利用效率均有显著影响^[2,3], 而对马铃薯膜下滴灌栽培氮素吸收积累及利用效率的研究报道较少。氮肥是马铃薯增产效果最显著

的肥料之一, 有关氮素利用效率的研究以往主要针对普通露地栽培模式, 因其施肥方式错综复杂, 资料结果差异很大。何华等^[4]在研究不同水肥条件对马铃薯氮素利用率的影响中发现, 在旱棚控制条件下, 高水高肥肥效利用率最高可达 57.83%, 而高水低氮或低水高氮导致最低的利用率, 仅为 22.87% 或 22.51%。段玉等^[5]在旱作马铃薯施肥肥效及养分利用率的研究中发现, 增施氮肥的氮素利用率变幅为

收稿日期: 2012-03-21

基金项目: 现代农业产业(马铃薯)技术体系建设专项资金资助(nycytx-15)。

作者简介: 梁潇(1986-), 女, 硕士, 主要从事马铃薯栽培营养生理研究。

* 通信作者(Corresponding author): 张胜, 教授, 主要从事马铃薯栽培及栽培营养生理研究, E-mail: nmndzs@126.com; 蒙美莲, 教授, 主要从事作物栽培学教学和马铃薯栽培生理研究, E-mail: mmeilian@126.com。

24.3%~45.2%。修凤英等^[6]在不同施氮量对马铃薯氮素利用特性影响的研究中表明,当施氮量为 135 kg/hm² 时,氮肥生理利用率及氮肥效益达最大值,而施氮量达到 210 kg/hm² 时,产值最高。

本文针对内蒙古武川县地区气温偏低、降雨偏少的气候特点,通过膜下滴灌不同施氮量试验,研究马铃薯氮素养分吸收、累积动态规律及其氮肥利用率变化,旨在为膜下滴灌条件下马铃薯科学合理施用氮肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验田概况及试验设计

试验于 2010 年在武川县大豆铺乡-武川农业综合开发试验园区进行。供试品种:‘紫花白’(Z)。供试土壤为沙壤土,前茬为燕麦。供试土壤 0~40 cm,有机质含量 15.43 g/kg,碱解氮 134.84 mg/kg,全磷 0.73 g/kg,速效钾 129.01 mg/kg,pH 为 8.61。试验采用膜下滴灌栽培模式。供试肥料:尿素(46-0-0)、硫酸钾(0-0-50)、氮磷钾复合肥(15-15-10)。试验于 5 月 19~20 日播种,7 月 16 日追肥,9 月 26 日收获。

试验设:0、67.5、135.0、202.5、270.0 kg/hm² 5 种纯氮量追氮处理,分别用 N1、N2、N3、N4、N5 表示。每小区种植 8 行(4 膜),大行距 100 cm,小行距 40 cm,行长 5 m,小区面积 28.0 m²,随机排列,3 次重复。株距为 26 cm,保苗 54 945 株/hm²。试验用 2 行覆膜滴灌播种机一次完成施底肥、覆膜、铺设滴灌管等作业工序,底肥施用量为氮磷钾复合肥(15-15-10) 955.5 kg/km²,硫酸钾(46%含钾量) 286.5 kg/km²,滴灌管铺设在膜下两行中间。供试氮肥全部于马铃薯块茎形成期按保苗数计算用量,在两穴间人工打孔追施,施肥深度 10 cm,于出苗后 23 d(7 月 16 日)一次性完成。在马铃薯块茎形成期至块茎增长期共滴灌 3 次,每次 3~4 h,其它管理同大田。

1.2 样品采集与测定

每小区留完整两行(1 膜)测产,其余除边行外在整个生育期分别于苗期(7 月 8 日)、块茎形成期(7 月 21 日)、块茎增长期(8 月 6 日,8 月 20 日)、淀粉积累期(9 月 4 日)、成熟期(9 月 19 日)共取样 6 次。每次取样选择有代表性的样株 3 株(苗期为 5 株)连同地下部挖起带回室内,分别记载植株地上部株

高、茎粗、茎数等生物学性状后,分叶、茎和块茎分别计量鲜重,然后均匀留取小样在 65℃ 下烘干至恒重,分别计小样干重后装袋保存备用。

各器官氮素含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-奈氏比色法测定。

1.3 数据计算

(1)氮素积累量(mg/株) = 氮素含量(g/kg) × 干物质重(g/株)

(2)氮肥利用率:氮肥农学利用率(AE, kg/kg) = (施氮区产量 - 空白区产量)/施氮量

氮肥生理利用率(PE, kg/kg) = (施氮区产量 - 空白区产量)/(施氮区全株吸氮量 - 空白区全株吸氮量)

氮肥吸收利用率(RE, %) = (施氮区全株吸氮量 - 空白区全株吸氮量)/施氮量 × 100%

氮肥偏生产力(PFP) = 施氮区产量/施氮量

所有数据采用 Excel 2003 和 DPS 数据处理系统进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同施氮处理对马铃薯各器官氮素含量变化的影响

马铃薯不同器官氮素含量明显不同,表现为叶片 > 茎秆 > 块茎。随着生育进程的推移,各器官及全株氮素含量均呈不断下降趋势。叶片及全株氮素含量在苗期至块茎形成期下降较快,之后下降速度减慢。从出苗后 15 d 至出苗后 28 d(块茎形成期)各处理叶片平均含氮量下降 2.81 g/kg/d,而块茎形成期至成熟期(出苗后 87 d)叶片平均含氮量仅下降 0.41 g/kg/d。茎、块茎氮素含量在各时期下降均较为平缓(表 1)。

不同施氮处理各时期叶、茎、块茎及全株氮素含量均随着施氮量的增加而提高。Turkey 多重比较表明,叶片、全株氮素含量在出苗后 15 d 差异均不显著,而叶片在出苗后 43 d(追氮后 20 d)和出苗后 57 d(追氮后 34 d),N5 与 N1 叶片氮素含量差异增大,均达 0.05 显著水平,以后随生育进程的推进,各时期各处理叶片氮素含量差异不显著。全株氮素含量表现为出苗后 28 d(追氮后 5 d),N5 与 N2、N1 差异显著,在出苗后 43 d(追氮后 20 d),追氮处理 N3~N5 与不追氮处理 N1 差异显著。从出苗后 28~43 d, N1 处理叶片氮素含量降低 30.1%,而

N4、N5 分别降低 20.3%和 19.6%。说明增施氮肥可以明显减缓叶片氮素含量的下降速率, 延缓衰老, 有利于光合作用的进行。不同施氮处理茎秆、块茎各生育时期氮素含量差异均不显著。

表 1 不同施氮量下的马铃薯各器官及全株氮素含量动态 (g/kg)
Table 1 Effects of different nitrogen treatments on potato nitrogen content in various organs

器官 Organ	处理 Treatment	出苗后天数(d)Days after emergence					
		15	28	43	57	72	87
叶 Leaf	N1	68.35 a	32.25 a	22.53 b	16.62 b	14.79 a	10.05 a
	N2	75.86 a	34.90 a	27.31 ab	18.74 ab	16.57 a	10.73 a
	N3	73.60 a	35.09 a	28.21 ab	19.07 ab	17.02 a	11.05 a
	N4	69.58 a	36.50 a	29.09 ab	21.22 a	17.21 a	11.40 a
	N5	71.59 a	37.69 a	30.30 a	22.27 a	17.36 a	11.45 a
茎 Stem	N1	31.25 a	24.58 a	18.04 a	11.48 a	8.48 a	7.71 a
	N2	29.89 a	24.68 a	18.41 a	11.49 a	9.38 a	8.48 a
	N3	30.82 a	25.83 a	19.12 a	12.63 a	9.47 a	8.64 a
	N4	32.05 a	26.60 a	19.90 a	13.51 a	9.55 a	9.49 a
	N5	33.24 a	28.47 a	20.01 a	14.22 a	9.67 a	9.79 a
块茎 Tuber	N1	—	10.42 a	10.15 a	8.32 a	7.30 a	6.04 a
	N2	—	11.88 a	10.23 a	8.65 a	7.46 a	6.54 a
	N3	—	13.47 a	10.24 a	8.99 a	8.27 a	7.03 a
	N4	—	14.14 a	10.27 a	9.07 a	8.46 a	7.05 a
	N5	—	14.90 a	10.74 a	9.70 a	8.70 a	7.07 a
全株 Whole plant	N1	58.01 a	23.71 b	16.28 b	11.09 a	8.91 a	6.62 a
	N2	62.62 a	25.37 b	18.16 ab	11.78 a	9.49 a	7.16 a
	N3	61.81 a	26.21 ab	18.66 a	12.06 a	10.00 a	7.58 a
	N4	58.33 a	27.12 ab	18.93 a	12.56 a	10.06 a	7.69 a
	N5	60.76 a	29.02 a	19.50 a	13.21 a	10.35 a	7.76 a

注：不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letter indicates significance at 0.05 level. The same below.

2.2 不同施氮处理对马铃薯各器官氮素累积吸收量变化的影响

2.2.1 不同施氮处理对马铃薯各器官氮素累积吸收量动态变化

将不同施氮处理马铃薯各器官氮素累积吸收量的动态变化绘制成图 1。

经对各器官氮素累积量与出苗后天数进行动态模拟分析表明, 马铃薯叶片、茎秆氮素累积吸收量均呈单峰曲线变化(图 1), 峰值出现在出苗后 43 d (块茎形成期)左右, N1~N5 各处理叶片、茎秆氮素累积吸收量峰值分别变化在 519.2 ~757.9 mg/株和 259.3 ~350.7 mg/株之间。块茎、全株氮素累积吸收量随着生育进程的推进均呈 S 型曲线变化(图 1), 块茎形成初期以前, 氮素累积量增长缓慢, 在块茎

形成、块茎膨大及淀粉积累过程中, 块茎氮素累积吸收量逐渐提高, 至成熟收获期达最高值, 而全株氮素累积吸收量至出苗后 57 d (块茎膨大后期)以后增长减缓, 逐步至收获期达到最高值。收获期全株氮素最大累积吸收量从 N1 至 N5 依次为: 1 209.09 mg/株、1 377.68 mg/株、1 620.04 mg/株、1 813.56 mg/株、1 886.58 mg/株。全株氮素最快累积吸收速率出现时间随施氮量的增大而延后, N1 至 N5 处理依次出现在出苗后的 21 d、22 d、26 d、27 d、27 d。施氮促进了最快累积吸收速率的提高, N1 至 N5 处理最快累积吸收速率依次为 32.19 mg/株/d、46.06 mg/株/d、37.64 mg/株/d、34.49 mg/株/d、49.48 mg/株/d。块茎氮素累积吸收量最大值依次为 914.4~1468.9 mg/株之间。

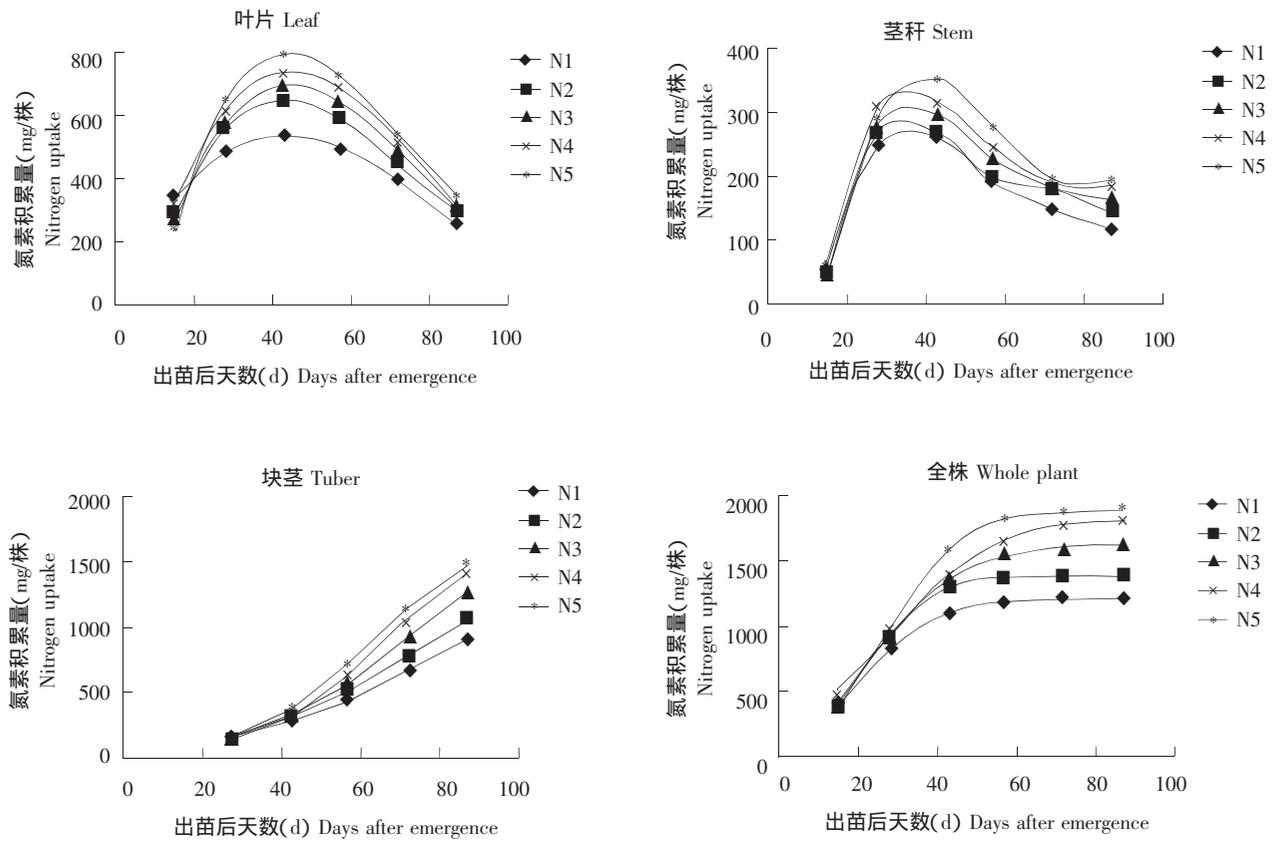


图 1 不同施氮处理下的马铃薯各器官氮素累积吸收量动态

Figure 1 Effect of different nitrogen treatments on potato nitrogen uptake in various organs

2.2.2 不同施氮处理对马铃薯各器官氮素累积吸收量的影响

除苗期(未追施氮肥)外,马铃薯各器官及全株各时期氮素累积吸收量均随施氮量的增加而逐渐提高,施氮对不同器官的氮素累积吸收量的影响效果不同。不同处理叶片氮素累积吸收量从出苗后 28 d(块茎形成期,追氮后 5 d)至出苗后 72 d(淀粉积累初期,追氮后 49 d)之间差异最大,以后差异有所缩小,出苗后 43 d 时 N5、N4、N3、N2 各处理比 N1 处理氮素积累量分别提高 46.0%、35.8%、30.1%、24.1%,而至收获期差异分别降为 34.0%、23.3%、17.7%、14.3%。各施氮处理与对照茎秆氮素积累量差异从出苗 28 d 后逐渐增大,至出苗后 43 d 差异达最大,以后差异较为稳定,直至成熟收获期 N5、N4、N3、N2 各处理氮素积累量仍比 N1 处理分别提高 67.3%、58.2%、40.4%、22.3%。不同施氮处理块茎、全株氮素累积吸收量与对照的差异随生育进程

推进而逐渐增大,至成熟收获期差异最大,N5、N4、N3、N2 各处理块茎氮素积累量分别比 N1 处理提高 60.6%、52.4%、40.1%、17.2%,全株氮素积累量分别提高 56.2%、47.4%、35.9%、17.1%(图 1)。

2.3 不同施氮处理对马铃薯氮素利用效率(NUE)的影响

马铃薯的氮肥吸收利用率(RE)、氮肥农学利用率(AE)、氮肥生理利用率(PE)和氮肥偏生产力(PFP)均随着施氮量的增加而呈逐渐降低趋势,从 N2 到 N5 处理,RE、AE、PE、PEP 分别降低 8.15 个百分点、32.50、164.20、480.85 kg/kg。Turkey 多重比较表明,N2 处理与 N4、N5 处理的 RE、AE 差异显著,与 N3 处理差异不显著。N3 处理的 RE、AE 与 N4 处理差异不显著,与 N5 处理差异显著。各处理间 PFP 差异均显著,PE 除 N3 和 N4 处理差异不显著外,其他各处理间差异也均达 0.05 水平显著(表 2)。这些说明随着施氮量的增加,施

表 2 不同施氮量下的马铃薯氮素利用率
Table 2 Effect of different nitrogen treatments on potato nitrogen use efficiency

处理 Treatment	吸收利用率(%) RE	农学利用率(kg/kg) AE	生理利用率(kg/kg) PE	偏生产率(kg/kg) PFP
N1	-	-	-	-
N2	60.39 a	48.15 a	271.70 a	592.62 a
N3	59.53 ab	37.83 ab	203.41 b	310.07 b
N4	57.47 b	31.54 b	192.63 b	213.03 c
N5	52.24 c	15.65 c	107.50 c	151.77 d

氮的吸收利用率、农学利用率、生理利用率和偏生产力均降低, 施肥越多, 效率越低。

2.4 不同施氮处理对马铃薯产量、1 000 kg 产量吸氮量、氮素消耗系数和生产效率的影响

马铃薯块茎产量随着施氮量的增加呈先增后降趋势, 以 N4 处理块茎产量最高, 达 43 137 kg/hm², N2、N3、N4、N5 处理分别比不施氮处理 N1 增产 8.8%、13.9%、17.4%、11.5%, 但差异未达到

显著水平。1 000 kg 产量氮素吸收量、氮素消耗系数均随着施氮量的增加而有所增大, 而氮素的生产效率却随施氮量的增加而降低。从 N1 到 N5 处理, 1 000 kg 块茎产量氮素吸收量从 4.79 kg 提高到 5.74 kg, 增长了 0.95 kg, 涨幅达 19.8%, 消耗系数从 0.00226 提高到 0.00279, 提高了 23.4%, 氮素养分生产效率从 208.64 降低到 174.34, 降低了 16.4%(表 3)。

表 3 不同氮水平下的马铃薯 1 000 kg 产量吸氮量
Table 3 Effect of different nitrogen treatments on potato N absorption for production of 1 000 kg tubers

处理 Treatment	产量(kg/hm ²) Production	1 000 kg 产量(鲜)吸收量(kg) N absorption for production of 1 000 kg tubers	消耗系数 Consumption coefficient	生产效率 Productivity
N1	36 751 a	4.79	0.00226	208.64
N2	40 002 a	5.19	0.00225	192.71
N3	41 859 a	5.64	0.00239	177.17
N4	43 137 a	5.72	0.00252	174.71
N5	40 978 a	5.74	0.00279	174.34

表 4 施氮量、氮素吸收量、吸收利用率与产量的相关性
Table 4 Correlations between nitrogen application rate, nitrogen uptake, nitrogen use efficiency and production

项目 Item	施氮量 Nitrogen application rate	氮素吸收量 Nitrogen uptake	氮素吸收利用率 Nitrogen use efficiency	产量 Production
施氮量 Nitrogen application rate	1			
氮素吸收量 Nitrogen uptake	0.989**	1		
氮素吸收利用率 Nitrogen use efficiency	0.621	0.694	1	
产量 Production	0.759	0.840*	0.868*	1

注: * 和 ** 分别代表在 0.05 和 0.01 水平上显著。
Note: * and ** mean significance at 0.05 and 0.01 level, respectively.

2.5 产量与施氮量、氮素吸收量、吸收利用率的相关性分析

将5种氮素处理单位面积施氮量、成熟期氮素吸收量、氮素吸收利用率与块茎产量进行相关分析,马铃薯块茎产量与氮素累积吸收量、吸收利用率之间存在显著的正相关,相关系数分别达到0.840和0.868,产量与施氮量间相关程度不显著;氮素吸收量与施氮量存在极显著的正相关,相关系数达0.989;氮素吸收利用率与施氮量、氮素吸收量相关不显著(表4)。

3 讨 论

马铃薯各器官各生育时期氮素含量均随施氮量的增加而提高,这与高炳德^[7]普通露地模式下研究结果一致。各器官氮素含量均随生育进程推进而降低,叶片、全株在块茎形成期氮素含量下降较快,以后下降较为平缓;茎和块茎氮素含量在各时期下降均较为平缓。追氮肥后20d左右,对叶片及全株氮素含量影响最为显著。

马铃薯各生育时期各器官氮素累积吸收量均随施氮量的增加而增加。块茎、全株氮素累积吸收量随生育进程的推进呈S型曲线变化,以收获期累积量为最高,与张宝林等^[8]普通露地模式下全株氮素累积吸收量成熟期呈下降趋势不同。其原因可能与膜下滴灌模式下马铃薯相对生长较普通栽培模式为好,叶片衰老脱落较晚有关。叶片、茎秆氮素累积量随生育进程呈单峰曲线变化,以出苗后40d左右累积量最高,以后随块茎的膨大生长,叶片、茎秆中氮素累积量逐渐向块茎转移而减少。块茎及全株氮素最快累积吸收速率出现的时间随施氮量的增加而延后。

作物施肥的利用效率高可有效反映施肥的经济性能,可用不同的效率指标所反映。氮肥偏生产力(PFP),指单位投入的肥料氮所能生产的作物经济产量,在一定程度上反映了生产一定产品需要付出的化肥代价,对施肥的宏观决策有一定指导意义。氮肥农学利用率(AE),指单位施氮量所增加的作物经济产量,是评价氮肥增产效应较为准确的指标,也是农业生产中最关心的经济指标之一。氮肥生理

利用率(PE),是作物地上部每吸收单位肥料中的氮所获得的经济产量的增加量,它说明的是植物体内氮素的利用效率。氮肥吸收利用率(RE),指单位投入的肥料氮所获得的作物氮积累量的增加量,能很好地反映作物对化肥养分的吸收状况^[9]。1000kg块茎产量氮素吸收量是指每生产1000kg块茎(鲜)所吸收的氮素养分数量。氮素消耗系数是评价作物消耗地力的指标,是指每生产100个重量单位的干物质所消耗氮营养元素的重量单位数量。氮素生产效率是指每1kg的氮素养分能生产马铃薯块茎的千克数。

马铃薯氮素吸收利用率(RE)、农学利用率(AE)、生理利用率(PE)和偏生产力(PEP)均随施氮量的增加而逐渐降低,施氮越多,其利用效率越低。N5处理的1000kg产量氮素吸收量最高,消耗系数最大,生产效率最低。

不同施氮水平下,马铃薯块茎产量与氮素吸收量、吸收利用率存在显著正相关,这与陈瑞英^[10]的研究结果一致。氮素吸收量与施氮量之间存在极显著的正相关,而产量与施氮量相关不显著。

[参 考 文 献]

- [1] 郭景山,李文刚,邓忠泉,等.内蒙中西部地区膜下滴灌种植马铃薯的发展状况分析[M]//陈伊里,屈冬玉.马铃薯产业与科技扶贫,哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2011:50-52.
- [2] 秦军红,蒙美莲,陈有君,等.马铃薯膜下滴灌增产效应的研究[J].中国农学通报,2011,27(18):204-208.
- [3] 麻里贵,金江彬,毛国斌,等.春马铃薯覆膜早熟栽培不同施氮量试验[J].温州农业科技,1997(3):7-9.
- [4] 何华,赵世伟,陈国良.不同水肥条件对马铃薯肥料N利用率的影响[J].应用生态学报,2000,11(2):235-239.
- [5] 段玉,妥德宝,赵沛义,等.马铃薯施肥肥效及养分利用率的研究[J].中国马铃薯,2008,22(4):197-200.
- [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):36-43.
- [7] 高炳德.马铃薯营养特性的研究[J].马铃薯,1984(4):3-13.
- [8] 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.
- [9] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [10] 陈瑞英.水氮互作对马铃薯产量和氮素吸收利用特性的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.