

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2021)02-0148-08

土壤肥料

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.02.007

$\text{NH}_4^+-\text{N} : \text{NO}_3^--\text{N}$ 对马铃薯品种‘冀张薯12’ 生长及糖类含量的影响

高亚南¹, 李雅楠¹, 蒙美莲², 贺学勤^{1*}

(1. 内蒙古农业大学园艺与植物保护学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要: 将马铃薯品种‘冀张薯12’种植在填充了蛭石与珍珠岩($v:v=5:1$)的套盆中, 采用不同比例的 $\text{NH}_4^+-\text{N}:\text{NO}_3^--\text{N}$ (3:7、4:6、5:5、6:4和7:3)进行浇灌, 通过研究不同时间马铃薯生长及糖类含量的变化, 筛选合适比例用于马铃薯生产, 明确氮素形态的作用, 为今后合理施肥提供参考。结果表明, 同一时期随 $\text{NH}_4^+-\text{N}:\text{NO}_3^--\text{N}$ 比例增加, 马铃薯株高、株幅和叶片数增加, 叶片中葡萄糖、蔗糖和淀粉积累增多, 7:3时均最大; 同一时期随 $\text{NH}_4^+-\text{N}:\text{NO}_3^--\text{N}$ 比例降低, 匍匐茎数量增加, 块茎膨大提前, 内部葡萄糖、蔗糖和淀粉含量提高, 3:7时均最高; 随植株生长, 所有处理下叶片中糖类含量均呈先增加后下降的趋势, 块茎中糖类含量呈逐渐增加的趋势。 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 分别促进地上部和地下部生长, 比值为3:7时对块茎形成及其内部葡萄糖、蔗糖和淀粉积累有促进作用。

关键词: 马铃薯; $\text{NH}_4^+-\text{N}:\text{NO}_3^--\text{N}$; 糖含量; 块茎形成

Effects of $\text{NH}_4^+-\text{N} : \text{NO}_3^--\text{N}$ on Growth and Carbonhydrate Contents of Potato Variety 'Jizhangshu 12'

GAO Yanan¹, LI Yanan¹, MENG Meilian², HE Xueqin^{1*}

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2. College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

Abstract: The optimal ratio of $\text{NH}_4^+-\text{N} : \text{NO}_3^--\text{N}$ was selected and the effect of nitrogen forms on potato was studied in this research in order to improve potato production and to optimize fertilization in the future. Potato variety 'Jizhangshu 12' in pots with vermiculite and perlite ($v:v=5:1$) was irrigated with the solutions of different ratios of $\text{NH}_4^+-\text{N} : \text{NO}_3^--\text{N}$ (3:7, 4:6, 5:5, 6:4 and 7:3). The height and width of plants, the number of leaves and stolons, and the contents of glucose, sucrose and starch were measured at different stages during plant growth. With increases of the ratio of $\text{NH}_4^+-\text{N} : \text{NO}_3^--\text{N}$, the height and width of the plant as well as the number of leaves increased at the same stage. The content of glucose, sucrose and starch in leaves also increased. The indexes were the highest at the ratio of 7:3 of $\text{NH}_4^+-\text{N} : \text{NO}_3^--\text{N}$. With decrease of the ratio of $\text{NH}_4^+-\text{N} : \text{NO}_3^--\text{N}$, the stolon number increased and tuber initiation was advanced. Meanwhile, the content of glucose, sucrose and starch in tubers raised at the same stage. The indexes were the highest at the ratio of 3:7. With the plant growth, the contents of glucose, sucrose and starch in leaves firstly increased, then decreased under all the treatments. Those in tubers gradually increased. NH_4^+-N promotes the growth of

收稿日期: 2021-01-21

基金项目: 国家马铃薯现代农业产业技术体系建设专项项目(CARS-09-P10)。

作者简介: 高亚南(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向为园艺植物栽培生理。

*通信作者(Corresponding author): 贺学勤, 教授, 研究方向为园艺植物栽培生理, E-mail: xueqinhe2013@163.com。

aboveground part, while NO₃⁻-N promotes the growth of underground part. The 3:7 of NH₄⁺-N : NO₃⁻-N benefits the tuber initiation and accumulation of glucose, sucrose and starch in tubers.

Key Words: potato; NH₄⁺-N : NO₃⁻-N; carbohydrate content; tuber initiation

施用氮肥是增产及保持高产的重要措施之一。马铃薯是喜硝作物, 供应硝态氮(NO₃⁻-N)可获得较高的块茎产量^[1,2], NO₃⁻-N 主要分配到叶片中促进营养生长^[3]。铵态氮(NH₄⁺-N)主要分配到块茎和茎中, 促进块茎形成和膨大, 施用 NH₄⁺-N 的块茎产量显著高于 NO₃⁻-N 的产量^[4]。块茎形成期决定单株块茎数, 块茎增长期决定块茎大小, 这是马铃薯生育最关键的两个时期^[5]。块茎形成期施加 NO₃⁻-N 会提早匍匐茎顶端膨大, 但单施 NH₄⁺-N 或 NO₃⁻-N 对产量影响差异不显著^[6]。在组织培养中, 同时添加 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N, 二者比例高会使试管苗中微型薯数量和直径减少^[7]; 比例低能明显增加马铃薯的蔗糖利用率和干物质积累速率, 促进微型薯的形成^[8]。

氮肥在调控植物碳水化合物运输与分配方面具有重要作用。NH₄⁺-N 处理的马铃薯块茎总淀粉含量高于单施 NO₃⁻-N 或与 NH₄⁺-N 混施的含量^[9]。NH₄⁺-N 处理的马铃薯块茎淀粉和还原糖含量均显著低于 NO₃⁻-N 的含量^[4]。也有试验证明氮素形态对块茎中淀粉含量影响不显著^[10,11], 但对还原糖表现为 NH₄⁺-N:NO₃⁻-N = 25:75 时最高, 50:50 时最低^[11]。

为进一步明确氮素形态及比例对马铃薯生长发育的影响, 本研究采用不同比例的 NH₄⁺-N : NO₃⁻-N 浇灌套盆中种植的‘冀张薯 12’, 通过测量植株生长及生长过程中糖类含量的时空变化, 筛选出适合的比例用于马铃薯生产种植, 明确 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 对马铃薯生长过程的调控, 为今后提高产量及肥料利用率、减少浪费提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为‘冀张薯 12’原原种(G1), 直径为 1~3 cm。

1.2 试验设计与种植

2019 年 5 月 10 日将种薯播于大棚中的套盆内。将种薯用含硫磺的代森锰锌拌种后晾干, 种植于上直径 27 cm, 下直径 23 cm, 高 24 cm 的黑

色套盆中, 每盆放两粒。每桶按照蛭石:珍珠岩 = 5:1(v:v)的比例进行灌装, 每桶基质中蛭石 2.04 kg, 珍珠岩 1.36 kg。

套盆按随机区组摆放, 每处理 2 盆, 重复 3 次。盆距为 15 cm × 15 cm。待出苗后浇灌营养液, 之后每隔 5 d 每盆浇灌等体积的营养液, 保持每盆含水量在 60%~70%。采用 MS 培养基中的大量、微量、铁盐配方作为营养液, 其中 NH₄⁺-N : NO₃⁻-N 按照试验中设计的比列进行调整。NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 分别由 NH₄Cl 和 KNO₃ 提供, 二者比例分别为 3:7、4:6、5:5、6:4、7:3。KNO₃ 会对钾含量产生影响, 为保证除试验因素外的其他因素一致, NH₄⁺-N : NO₃⁻-N = 3:7 时钾含量最高, 以此为标准, 在其他配方中添加相应的 KCl 来调节钾含量, 使其达到一致。

1.3 取样时间及测量方法

每天取出内部套筒, 观察匍匐茎生长情况。由于 7:3 下匍匐茎出现且发育晚于其他比例, 测量和采样均以该比例下的发育为时间节点, 分别在 6 月 29 日(匍匐茎顶端膨大)、7 月 4 日(块茎 0.2 cm)、7 月 7 日(块茎 0.4 cm)、7 月 10 日(块茎 0.6 cm)、7 月 15 日(块茎 0.8 cm)、7 月 20 日(块茎 1.2 cm)、7 月 25 日(块茎 1.8 cm)、8 月 1 日(块茎 2.4 cm)、8 月 10 日(块茎 2.6 cm)和 8 月 18 日(块茎 3.2 cm)进行形态指标(株高、株幅、叶片数和匍匐茎数)的测量。

株高: 测量植株顶部至根部长度(cm)。

株幅: 测量植株最宽处的距离(cm)。

匍匐茎数: 顶端明显膨大的匍匐茎数量。

在各时间节点用游标卡尺测量块茎最宽处的直径, 并选取平均大小块茎拍照记录。收集的叶片和块茎分别清洗称重, 105℃杀青 30 min, 75℃烘干至恒重。干样品用于葡萄糖、蔗糖和淀粉含量的测定, 结果用于干样计算。葡萄糖含量测定采用 3,5-二硝基水杨酸法^[12]; 蔗糖含量测定采用间苯二酚法^[13]; 淀粉含量测定采用碘-淀粉比色法^[14]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 和 SAS 9.0 进行数据统计分析。

2 结果与分析

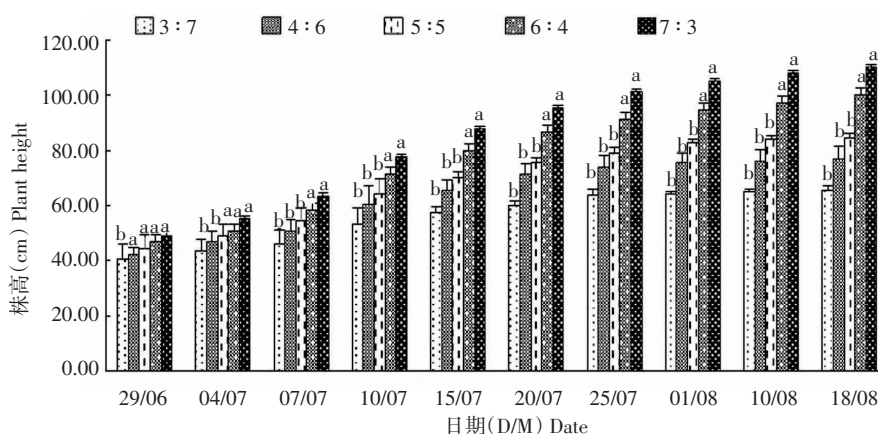
2.1 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对马铃薯株高、株幅和叶片数的影响

同一时期内, 株高、株幅和叶片数均随 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 比例的升高而升高。不同比例下, 马铃薯株高均表现为7月10日前增幅较小, 随后生长较快(图1); 株幅和叶片数在7月7日前增幅较大, 随后增长幅度减小(图2, 3)。7:3处理的株高、株幅和叶片数在8月18日结束收样时分别为 $(110.25 \pm$

$1.24)\text{cm}$ 、 $(64.33 \pm 1.22)\text{cm}$ 和 $(16.87 \pm 1.09)\text{叶/株}$, 显著高于3:7。

2.2 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对块茎形成的影响

相同时间内, $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 比例越低, 块茎越大, 3:7下马铃薯块茎比同期其他处理的马铃薯块茎大(图4)。同一时期, 3:7下的匍匐茎数量均高于其他处理, 其中7月15日前的差异达显著水平; 7月15日后3:7、4:6和5:5之间的差异逐渐渐小, 但始终表现为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比例越低, 匍匐茎数量越多(表1)。



注: 误差线表示样本标准差。多重比较采用LSD法, 不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Error bar represents standard deviation of sample. Treatment means with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$) as tested using LSD method. The same below.

图1 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对马铃薯株高的影响

Figure 1 Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ on plant height of potatoes

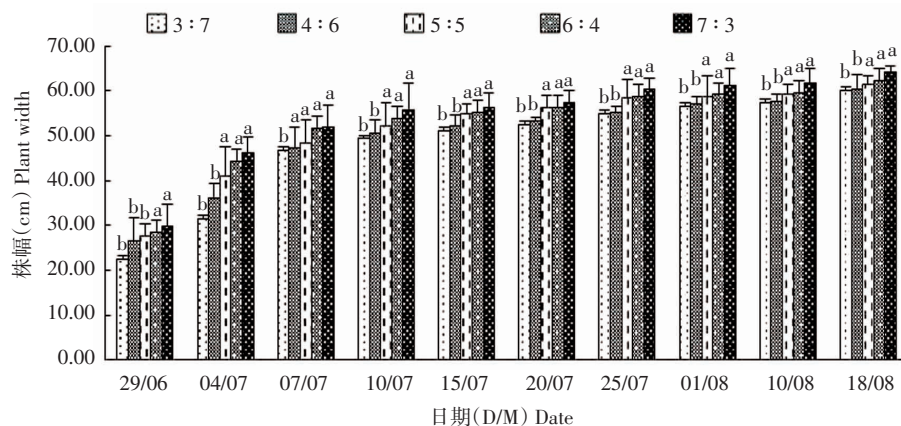


图2 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对马铃薯株幅的影响

Figure 2 Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ on plant width of potatoes

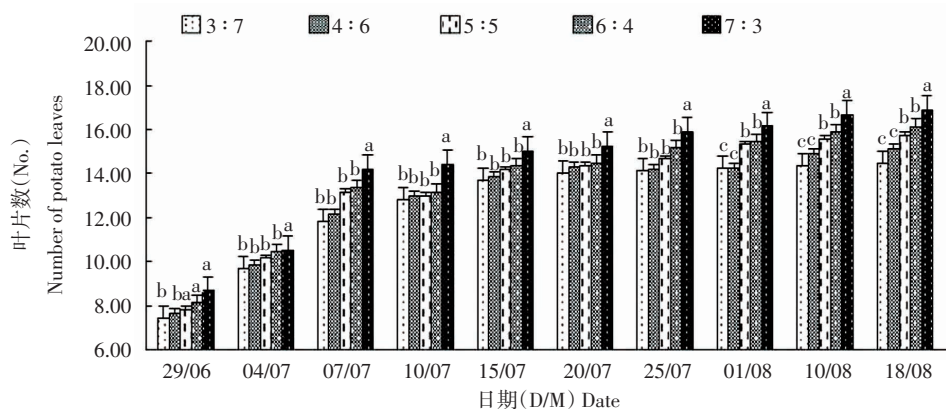


图3 NH₄⁺-N:NO₃⁻-N对马铃薯叶片数的影响

Figure 3 Effects of NH₄⁺-N : NO₃⁻-N on leaf number of potatoes



图4 NH₄⁺-N:NO₃⁻-N对马铃薯块茎形成的影响

Figure 4 Effects of NH₄⁺-N : NO₃⁻-N on tuber formation of potato tubers

表1 NH₄⁺-N:NO₃⁻-N对马铃薯匍匐茎数量的影响

Table 1 Effects of NH₄⁺-N : NO₃⁻-N on the stolon number of potatoes

日期(D/M) Date	3:7(No./plant)	4:6(No./plant)	5:5(No./plant)	6:4(No./plant)	7:3(No./plant)
29/06	3.2 a	2.4 b	1.1 c	0.8 c	0.7 c
04/07	3.6 a	2.9 b	1.6 c	0.9 d	0.8 d
07/07	4.1 a	3.2 b	2.1 c	1.4 d	0.8 d
10/07	4.8 a	3.9 b	2.7 c	1.9 d	1.2 e
15/07	5.4 a	4.6 b	3.4 c	2.8 cd	1.4 d
20/07	6.6 a	5.7 a	4.1 b	3.6 c	2.1 d
25/07	7.6 a	6.2 a	5.6 ab	4.2 b	3.4 c
01/08	8.4 a	7.4 a	6.6 ab	5.2 b	4.1 c
10/08	9.7 a	8.4 a	7.6 ab	6.3 b	5.5 c
18/08	10.9 a	9.4 a	8.8 ab	7.2 b	6.2 c

注: 不同字母表示同行间差异显著($P < 0.05$), 多重比较采用LSD法。

Note: Treatment means in the same row with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$), as tested using LSD method.

2.3 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对马铃薯中葡萄糖、蔗糖及淀粉含量的影响

2.3.1 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对叶片和块茎中葡萄糖含量的影响

随着块茎的膨大, 所有处理叶片中葡萄糖含量均在7月20日达到最大(分别为10.5, 11.09, 11.73,

13.99和15.01 mg/g), 随后降低(图5); 块茎中的葡萄糖含量逐渐增加, 在8月18日达到最大值(分别为25.19, 22.46, 18.39, 14.33和13.88 mg/g)(图6)。同一时期, 随 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的降低, 叶片中葡萄糖含量减少, 3:7的显著低于7:3的; 块茎中的葡萄糖含量增加, 且3:7的显著高于7:3的。

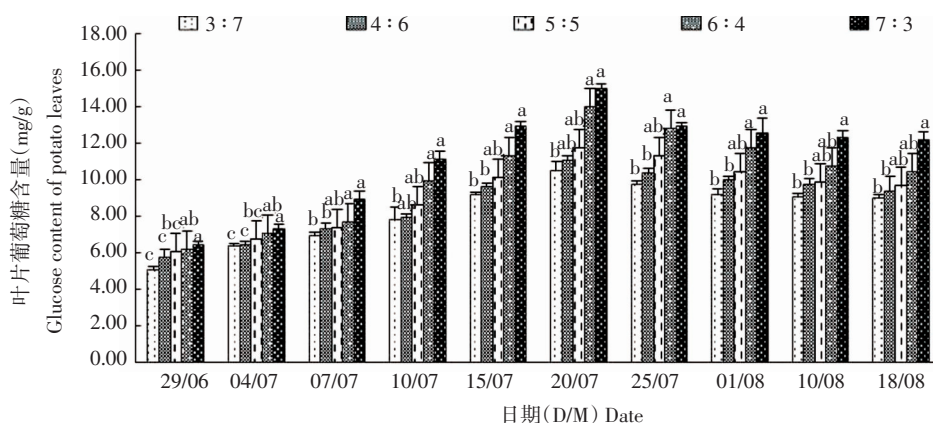


图5 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对马铃薯叶片中葡萄糖含量的影响

Figure 5 Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ on glucose content of potato leaves

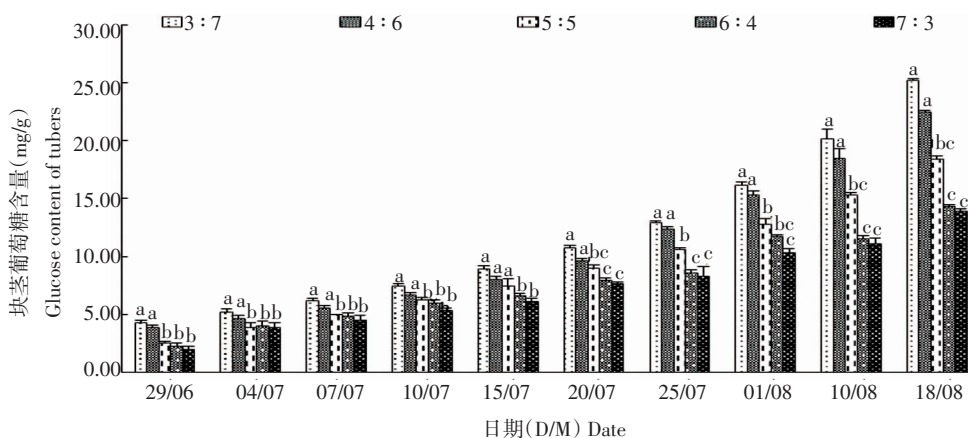


图6 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对马铃薯块茎中葡萄糖含量的影响

Figure 6 Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ on glucose content of potato tubers

2.3.2 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对叶片和块茎中蔗糖含量的影响

随着块茎的膨大, 所有处理下叶片中的蔗糖含量逐步积累, 于7月20日达到峰值(分别达到42.01, 44.35, 46.92, 51.21和58.89 mg/g), 此后逐减降低(图7); 块茎中的蔗糖含量逐渐增加, 于8月18日达

到最大值(分别为18.11, 17.06, 15.57, 15.16和14.95 mg/g)(图8)。同一时期内 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比例越小, 叶片中蔗糖含量积累越少, 且3:7的显著低于7:3的; 但是相反块茎中蔗糖含量越多, 且3:7的显著高于7:3的。

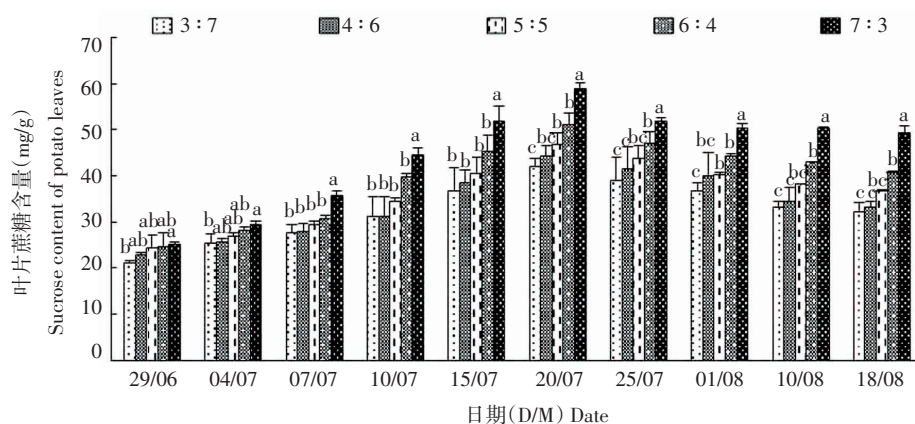


图7 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对马铃薯叶片蔗糖含量的影响

Figure 7 Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ on sucrose content of potato leaves

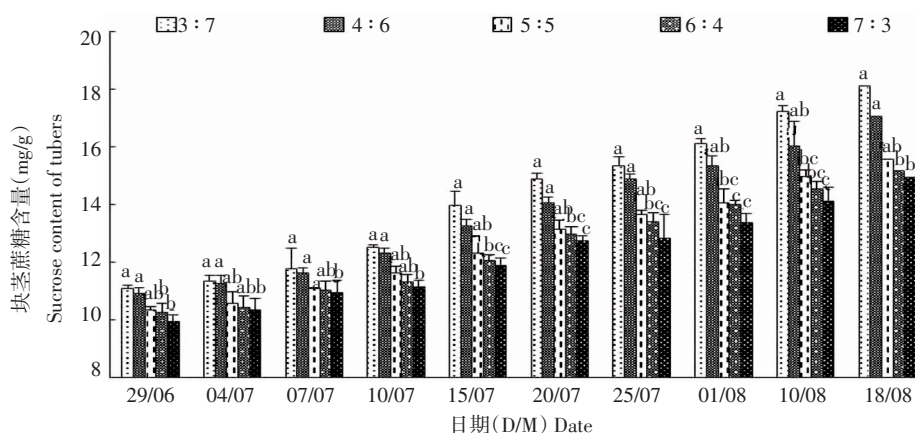


图8 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对马铃薯块茎蔗糖含量的影响

Figure 8 Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ on sucrose content of potato tubers

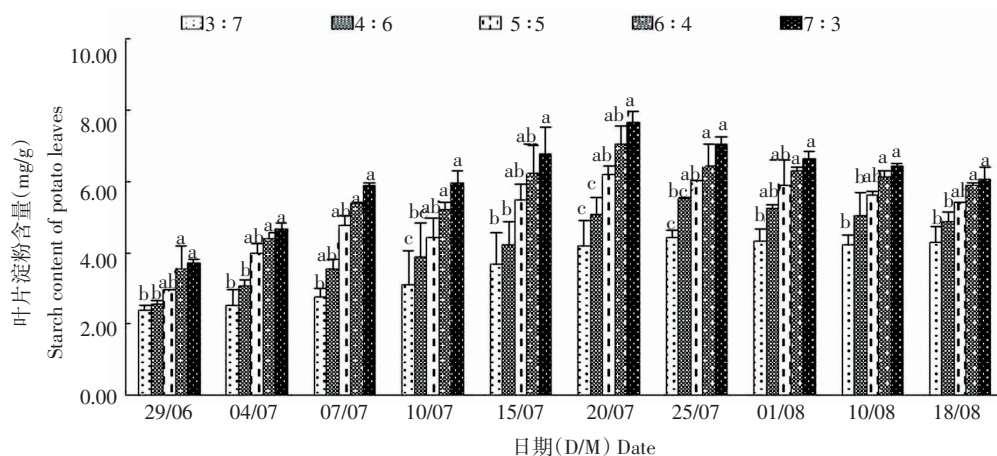


图9 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对马铃薯叶片中淀粉含量的影响

Figure 9 Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ on starch content of potato leaves

2.3.3 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对叶片和块茎中淀粉含量的影响

叶片中淀粉含量随块茎的膨大先增加后下降, 于7月20日达到最大值(除4:6处理的峰值出现在7月25日)(图9), 块茎中的淀粉含量呈逐渐增加的趋势, 于8月18日达到最大值(分别为

42.10, 38.55, 32.41, 29.88 和 28.44 mg/g)(图10)。同一时期内, 施加 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比例越小, 叶片中淀粉含量越少, 但块茎中淀粉含量越多, 3:7与7:3之间差异在6月29日至7月7日间差异不显著, 在7月10日后直到8月18日结束收样期间差异均达到显著。

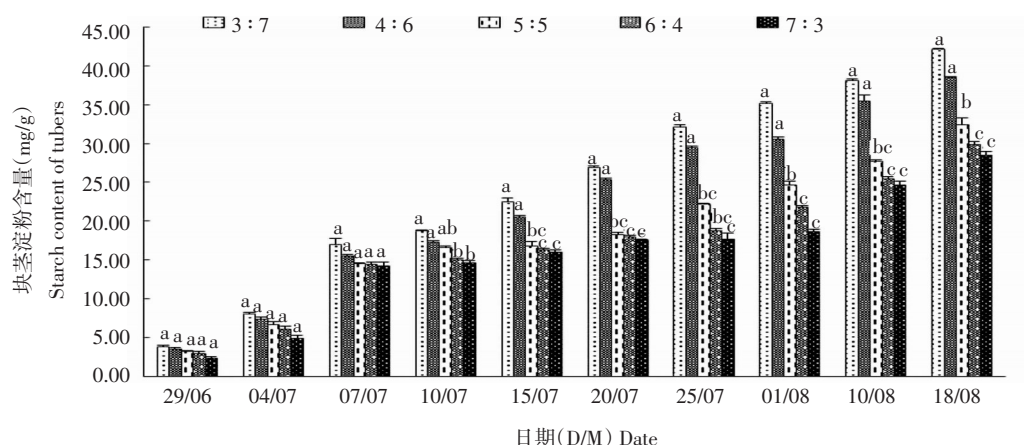


图10 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对马铃薯块茎淀粉含量的影响

Figure 10 Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ on starch content of potato tubers

3 讨论

氮肥在提高产量、调控植物碳水化合物运输与分配方面具有重要作用。一定的施肥范围增加了马铃薯产量^[15], 增加了株高、主茎数及茎粗^[16]。De Wilde等^[17]认为减少施氮量会使块茎中还原糖含量上升, 从而使与还原糖含量正相关的丙烯酰胺生成量增高; 张婷婷^[18]则认为施氮不利于马铃薯块茎中还原糖含量降低及淀粉积累。氮浓度低时(0~120 kg/hm²)马铃薯叶片中糖类浓度, 葡萄糖、果糖和蔗糖含量随施氮量的增加逐渐增高^[19]。

施用 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 增大了马铃薯植株叶面积, 提高了叶绿素含量^[20]。单施 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 较高浓度下促进‘凤丹’的叶长、叶宽、新枝条长度生长; 混施 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$, 在摩尔配比50:50时株高、冠幅和花直径提高^[21]。Osaki等^[3]则认为是 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 促进了地上部生长。本试验中, 随 $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 比例增高, 马铃薯株高、株幅和叶片数逐渐增加, 叶片中葡萄糖、蔗糖和淀粉含量随之增加, 7:3下最高, 表

明 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 可促进马铃薯植株地上部的生长。

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 提高了甘薯块根中淀粉含量和蔗糖合酶活性^[22]。高硝铵比(5:1)能提高马铃薯块茎蔗糖利用率, 促进块茎形成^[8]。全 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 施用的马铃薯匍匐茎数量显著高于其他处理^[23]。本试验中, 随 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 比例增高, 葡萄糖、蔗糖和淀粉含量在叶片中下降, 块茎中上升; $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ 为3:7时, 匍匐茎数量最多, 块茎内部葡萄糖、蔗糖和淀粉含量最高。表明 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 有利于匍匐茎的形成和块茎中糖分积累, 促进植物地下部的生长。

综上所述, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 促进地上部生长, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 有利于地下部生长, 3:7的施肥比例有利于‘冀张薯12’块茎形成及其内部葡萄糖、蔗糖和淀粉含量提高。

【参考文献】

- [1] Davis J M, Loescher W H, Hammond M W, et al. Response of potato to nitrogen form and to change in nitrogen form at tuber initiation [J]. Journal of the American Society for Horticultural

- Science, 1986, 111(1): 70-72.
- [2] Serio F, Elia A, Signore A, *et al.* Influence of nitrogen form on yield and nitrate content of subirrigated early potato [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(11): 1428-1432.
- [3] Osaki M, Shirai J, Shinano T, *et al.* Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1995, 41(4): 709-719.
- [4] 苟久兰, 孙锐锋, 何佳芳, 等. 种植模式和氮肥形态对威芋 3 号马铃薯产量及品质的影响 [J]. 中国马铃薯, 2011, 25(3): 36-41.
- [5] 王惠群, 萧浪涛, 杨艳丽, 等. 不同加工型马铃薯品种光合特性的比较 [J]. 中国马铃薯, 2005, 19(6): 335-339.
- [6] Gao Y, Jia L G, Hu B, *et al.* Potato stolon and tuber growth influenced by nitrogen form [J]. Plant Production Science, 2014, 17(2): 138-143.
- [7] Garner N, Blake J. The induction and development of potato micro-tubers *in vitro* on media free of growth regulating substances [J]. Annals of Botany, 1989, 63(5): 663-674.
- [8] Chen J J, Liao Y J. Nitrogen-induced changes in the growth and metabolism of cultured potato tubers [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1993, 118(2): 831-834.
- [9] 丁玉川, 焦晓燕, 聂督, 等. 不同氮源与镁配施对马铃薯产量、品质及养分吸收的影响 [J]. 农学学报, 2012, 2(6): 49-53.
- [10] 张美琴, 马建华, 樊明寿. 氮素形态与马铃薯品质的关系 [J]. 中国马铃薯, 2008, 22(6): 321-324.
- [11] 邓兰生, 齐庆振, 龚林, 等. 滴施不同铵硝比例氮肥对马铃薯生长的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2011(4): 13-16.
- [12] 朱海霞, 石瑛, 张庆娜, 等. 3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法测定马铃薯还原糖含量的研究 [J]. 中国马铃薯, 2005, 19(5): 266-269.
- [13] 贾慧, 贺学勤, 蒙美莲, 等. 硝普钠对不同缺水状态下盆栽马铃薯产量及品质的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(5): 63-67, 107.
- [14] 吴德瑜. 保水剂在农业上的应用进展 [J]. 作物杂志, 1990(1): 22-23.
- [15] 张静, 蒙美莲, 王颖慧, 等. 氮磷钾施用量对马铃薯产量及品质的影响 [J]. 作物杂志, 2012(4): 124-127.
- [16] 田洵. 施氮量对不同马铃薯品种生长发育及氮代谢的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016.
- [17] De Wilde T, De Meulenaer B, Mestdagh F, *et al.* Influence of fertilization on acrylamide formation during frying of potatoes harvested in 2003 [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(2): 404-408.
- [18] 张婷婷. 不同施氮水平对马铃薯碳氮代谢及产质量的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
- [19] Wen G Q, Cambouris A N, Ziadi N, *et al.* Effects of nitrogen fertilization on the leaf chemical composition of two potato cultivars under controlled conditions [J]. American Journal of Potato Research, 2020, 97(2): 175-184.
- [20] Suyala Q, Jia L G, Qin Y L, *et al.* Effects of different nitrogen forms on potato growth and development [J]. Journal of Plant Nutrition, 2017, 40(11): 619-623.
- [21] 刘曙光, 段佩玲, 张利霞, 等. 氮素形态对‘凤丹’表型性状、光合及产量的影响 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2019, 43(4): 161-168.
- [22] Si C C, Shi C Y, Liu H J, *et al.* Effects of nitrogen forms on carbohydrate metabolism and storage-root formation of sweet potato [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2018, 181(3): 419-428.
- [23] 唐铭霞, 王克秀, 胡建军, 等. 不同氮素形态比对雾培马铃薯生长和原原种产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018(3): 20-25.