中国农业大学学报 2024,29(8):77-85
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

李勇,杨焕春,常向彩,杨轶,李静雯,柏光兰,庞丽. 施氮量对马铃薯块茎淀粉积累及相关超微结构的调节效应[J]. 中国农业大学学报,2024,29(08):77-85.
LI Yong, YANG Huanchun, CHANG Xiangcai, YANG Yi, LI Jingwen, BAI Guanglan, PANG Li. Effects of nitrogen application on starch accumulation and related ultrastructure in potato tuber[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(08): 77-85.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.08.06

施氮量对马铃薯块茎淀粉积累及相关超微结构的调节效应

李 勇 杨焕春 常向彩 杨 轶 李静雯 柏光兰 庞 丽
(安顺学院 农学院,贵州 安顺 561000)

摘 要 为明确施氮量对不同淀粉型马铃薯块茎淀粉积累及相关超微结构的调节效应,选用高淀粉品种'克新22号'和低淀粉品种'克新19号',设置0(CK)、75、150、225和300 kg/hm^{2}共5个施氮量处理,测定不同施氮量处理的块茎淀粉含量、淀粉产量以及块茎淀粉粒、淀粉体的个数和粒径,并分析了马铃薯块茎淀粉含量与淀粉粒、淀粉体之间的关系。结果表明:施氮量在0~300 kg/hm^{2}时,'克新22号'和'克新19号'品种块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈不断降低的趋势。其中施氮量为0(CK)kg/hm^{2}时,2个品种的块茎淀粉含量均达最高。2个品种块茎的淀粉产量随施氮量的增加则呈先增加后降低的趋势。其中施氮量为150 kg/hm^{2}时,高淀粉品种'克新22号'块茎的淀粉产量达到最高,为11.27 t/hm^2;而低淀粉品种'克新19号'施氮量为225 kg/hm^{2}时,块茎淀粉产量达到最高,为8.99 t/hm^2。2个品种块茎淀粉粒和淀粉体的数量均随施氮量增加呈不断减少的趋势,淀粉粒和淀粉体的平均粒径随施氮量增加均呈不断变小的趋势,2个品种块茎微观淀粉粒的含量随施氮量增加呈不断降低的趋势,与块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈不断降低的趋势一致。2个品种块茎中粒径(d)<30 μm的淀粉粒和淀粉体所占比例均随施氮量的增加呈不断增加的趋势,d≥30~50和≥50 μm的淀粉粒和淀粉体所占比例均随施氮量的增加呈不断降低的趋势。其中施氮量为0(CK)kg/hm^{2}时,2个品种块茎中淀粉粒和淀粉体的数量最多、粒径最大,d<30 μm的淀粉粒和淀粉体所占比例最低,d≥30~50和≥50 μm的淀粉粒和淀粉体所占比例最高。综上所述,不同淀粉型马铃薯块茎淀粉积累及相关超微结构受施氮量的影响较大;应根据不同淀粉型马铃薯块茎的淀粉含量、淀粉产量及淀粉粒和淀粉体等超微结构的变化确定品种适宜的施氮量。

关键词 马铃薯;施氮量;块茎;淀粉含量;淀粉产量;淀粉粒;淀粉体
中图分类号 S532 **文章编号** 1007-4333(2024)08-0077-09 **文献标志码** A

Effects of nitrogen application on starch accumulation and related ultrastructure in potato tuber

LI Yong, YANG Huanchun, CHANG Xiangcai, YANG Yi, LI Jingwen, BAI Guanglan, PANG Li
(College of Agriculture, Anshun University, Anshun 561000, China)

Abstract In order to determine the regulatory effects of nitrogen application on starch accumulation and related ultrastructure in potato tuber of different starch type varieties, the high-starch variety 'Kexin 22' and low-starch variety 'Kexin 19' were selected and treated with nitrogen application rates of 0 (CK), 75, 150, 225 and 300 kg/hm^2, respectively. The starch content, starch yield and the number and particle size of starch granules and amyloid bodies in tubers under different nitrogen application were measured. The relationship between starch content and starch granules and amyloid bodies in potato tubers was analyzed.

收稿日期: 2023-08-30
基金项目: 国家自然科学基金项目(32260527);贵州省普通高等学校青年科技人才成长项目(黔教合KY字[2019]146);安顺学院博士基金项目(Asxybsjj201901);贵州省科技拔尖人才项目(黔教合KY字[2020]040);贵州省高等学校大学生创新创业训练计划(202210667012,S202210667061,S202210667020)
第一作者: 李勇(ORCID:0000-0002-3313-8749),副教授,主要从事马铃薯遗传育种和栽培生理研究,E-mail:liyong5306449@163.com

The results showed that: The starch content of tubers of 'Kexin 22' and 'Kexin 19' varieties decreased with the increase of nitrogen application rate when nitrogen application rate was 0 to 300 kg/hm^2. The starch content of tuber of the both varieties reached the highest values when nitrogen application rate was 0 (CK) kg/hm^2. The starch yield of tuber of the two varieties increased first and then decreased with the increase of nitrogen application. When the nitrogen application rate was 150 kg/hm^2, the starch yield of high-starch variety 'Kexin 22' reached the highest, which was 11.27 t/hm^2. The starch yield of low-starch variety 'Kexin 19' reached 8.99 t/hm^2 when the nitrogen rate was 225 kg/hm^2. The number of starch granules and amyloid bodies in the tubers of the two varieties showed a decreasing trend with the increase of N application rate, and the average particle size of starch granules and amyloid bodies showed a decreasing trend with the increase of N application rate, resulting in a decreasing trend of microscopic starch granule content in the tubers of the two varieties with the increase of N application rate. It was consistent with the decreasing trend of starch content in the tubers with the increase of N application rate. The proportion of starch granules and amyloid bodies with diameter (d) $<$30 μm increased with the increase of N application rate, and the proportion of starch granules and amyloid bodies ($d \geqslant$30-50 μm and $\geqslant$50 μm) decreased with the increase of N application rate. When the nitrogen rate was 0 (CK) kg/hm^2, the number and size of starch granules and amyloids of the two varieties were the largest, the proportion of starch granules and amyloids (d $<$30 μm) was the lowest, and the proportion of starch granules and amyloids ($d \geqslant$30-50 and $\geqslant$50 μm) was the highest. In conclusion, the starch accumulation and related ultrastructure of potato tubers of different starch potato varieties were greatly affected by nitrogen application. Therefore, the suitable nitrogen application should be determined according to the starch content, starch yield and ultrastructure changes of starch granules and starch bodies in the tubers of different starch type potato varieties.

Keywords potatoes; nitrogen application amount; tuber; starch content; starch yield; starch granules; amyloplast

马铃薯(*Solanum tuberosum*)是继小麦、水稻和玉米之后的世界第四大粮食作物[1]。淀粉占马铃薯块茎干重的60%～70%,是块茎的主要成份。马铃薯淀粉为人类提供生命必需的能量,由于其独特的功能,在食品和工业加工中得到大量应用[2]。据统计,我国已有大中型淀粉加工企业百余家,小型企业千余家,生产能力已达200万t[3]。因此,提高马铃薯块茎淀粉含量和淀粉产量的研究对于满足淀粉加工企业对淀粉原料薯的质量要求具有重要的意义。

已有研究表明,淀粉合成受多基因调控[4],易受自然条件的制约[5],还受栽培条件的影响[6]。其中氮肥对马铃薯块茎产量和淀粉含量均具有重要影响[7]。目前,围绕施氮量对马铃薯块茎淀粉含量的影响研究报道较多[8-10]。Zebarth等[11]研究发现增施氮肥能显著提高马铃薯的块茎产量;但过量施氮反而会降低马铃薯块茎的淀粉含量[12]。关于施氮量对不同淀粉型马铃薯块茎淀粉产量的影响研究报道较少。白建明等[13]研究表明淀粉加工型品种是以淀粉含量和淀粉产量作为综合指标,而淀粉产量是主要的依据,因此提高马铃薯块茎的淀粉产量更有实践意义。

储藏细胞中淀粉粒的粒径大小和数量对马铃薯块茎的淀粉含量和淀粉产量均具有重要影响[14]。淀粉粒的粒径大小也影响淀粉的结晶结构、粘度性质、糊化性质、流变性质结构等理化性质,进而影响马铃薯块茎淀粉的加工品质[15]。淀粉粒的粒径大小、数量和增长速度会因品种和栽培条件不同而异[16-17]。淀粉体是淀粉合成和淀粉粒储存的主要场所,淀粉体的粒径大小和数量也影响马铃薯块茎的淀粉含量和淀粉产量[18]。

目前关于施氮量对不同淀粉型马铃薯块茎淀粉积累及相关超微结构的影响研究报道较少。本研究选用生育期相近的高淀粉品种'克新22号'和低淀粉品种'克新19号'为试验材料,通过设置不同施氮量处理,分析施氮量对不同淀粉含量的马铃薯品种块茎淀粉积累及其相关超微结构的影响,旨在探讨施氮量对马铃薯块茎淀粉积累的影响规律,以期为高淀粉马铃薯的科学施氮提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

选用生育期为 90 d 的‘克新 22 号’高淀粉品种和生育期为 95 d 的‘克新 19 号’低淀粉品种的原种为试验材料。

1.2　试验设计

采用二因素裂区试验设计，品种处理被安排在主区，氮肥处理被安排在副区。其中，氮肥设 0（CK）、75、150、225 和 300 kg/hm^2 共 5 个处理，每个处理 3 次重复。6 行区，行长 12 m，垄距 90 cm，株距 20 cm，小区面积为 64.8 m^2。P_2O_5 为 150 kg/hm^2，K_2O 为 300 kg/hm^2。

供试肥料以种肥方式一次性施入。选用尿素调氮，重过磷酸钙调磷，硫酸钾调钾。试验地营养状况：碱解氮 138.3 mg/kg；有效磷 20.7 mg/kg；速效钾 214 mg/kg；pH 6.26；有机质 36 g/kg；全氮 0.28 g/100 g；全磷 0.074 g/100 g；全钾 2.51 g/100 g。

1.3　试验方法

试验被安排在黑龙江省克山县马铃薯试验基地（125.87°E，48.03°N，海拔 236.9 m）进行。采用整薯播种，选用 50 g 左右的小种薯。麦茬，伏翻地。2016 年 5 月 12 日，人工播种。6 月 27 日，中耕除草。生育期间，每隔 7 d 喷施 1 次杀菌剂和杀虫剂。9 月 10 日，人工收获。在苗后 78 d（块茎成熟期）收取小区中间 4 行 1 m 区段内的所有块茎，将块茎按＜25、≥25～50、≥50～75、≥75～125、≥125～175 和 ≥175 g 的规格分为 6 级，分别统计各级别块茎的数量和重量，计算出小区的块茎产量，并折算成公顷产量。按级别及比例选取块茎 1 kg，作为取样样品。取样样品洗净后晾干，将取样样品中每个块茎沿顶部到脐部方向切取一片混在一起，先切条，再切成小块，混匀后作为块茎样品。按四分法取 100 g 左右的块茎样品，称量鲜重后放入铝盒中，经 105 ℃杀青 30 min，在 70 ℃烘至恒重。称量样品干重后，用粉碎机粉碎，100 目的筛网过筛后，放在干燥器中保存，用于块茎淀粉含量的测定。用块茎产量乘以块茎淀粉含量，得出块茎淀粉产量。

将马铃薯块茎样品用双面刀片切成 2 mm×5 mm 的小条。将块茎样品观察面向上，用导电胶带粘在扫描电镜样品台上。用日本日立公司生产的 E-1010 型离子溅射镀膜仪在样品表面镀上一层 100～150 Å 的金属膜。用日本日立公司生产的 S-3400 N 型扫描电子显微镜对块茎样品进行观察并拍照记录。观察扫描电镜照片中的淀粉粒并计数，对每个视野中的淀粉粒按＜30、≥30～50 和≥50 μm 的粒径进行分级，并统计出各级淀粉粒的数量，计算出各级淀粉粒的比例，最后用各级淀粉粒的直径总和除以淀粉粒的总数，得出各施氮量处理淀粉粒的平均粒径（d，μm）。

将马铃薯块茎样品用双面刀片切割成 1 mm × 3 mm 的小条。用 2.5% 戊二醛进行前固定，用 0.1 mol/L 磷酸缓冲液冲洗，用 2% 的四氧化锇固定液固定后，再用 0.1 mol/L 磷酸缓冲液再次冲洗。使用乙醇进行梯度浓度脱水。100% 乙醇和 100% 丙酮按体积比为 1∶1 混合后加入样品瓶中，10 min 后换成纯丙酮 5 min 后倒掉。纯丙酮和环氧树脂 812 包埋剂分别按体积比 1∶1 浸透 2 h，1∶2 浸透 11 h，1∶3 开盖过夜。将包埋好的样品放入恒温培养箱中进行聚合处理。把定位好的样品块固定于美国阿姆西公司生产的 ULTRACUT-E 型超薄切片机上，进行超薄切片操作。样品用 1% 醋酸双氧铀染色 30 min，超纯水冲洗干净；滴加柠檬酸铅溶液进行染色。30 min 后，用超纯水冲洗，放于培养皿的滤纸上待检。使用日本日立公司生产的 H-7650 型透射电子显微镜对块茎样品进行观察并拍照记录。观察透射电镜照片中的淀粉体并计数，对每个视野中的淀粉体按＜30、≥30～50 和≥50 μm 的粒径进行分级，并统计出各级淀粉体的数量，计算出各级别淀粉体的比例，最后用各级淀粉体的直径总和除以淀粉体的总数，得出各施氮量处理淀粉体的平均粒径（d，μm）。

1.4　淀粉品质指标测定及数据统计

块茎淀粉含量参照国标“谷物籽粒粗淀粉测定法”[19]测定。采用 WPS Office 绘图，利用 DPS18.10 数据处理系统对各指标数据进行方差分析，采用 Duncan 新复极差法对各处理的平均数进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　施氮量对马铃薯块茎淀粉含量的影响

由表 1 可知，施氮量在 0～300 kg/hm^2 时，‘克新 22 号’和‘克新 19 号’品种块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈不断降低的趋势。与低淀粉品种

‘克新19号’相比，高淀粉品种‘克新22号’随施氮量的增加其块茎淀粉含量降低的幅度更大。因此，高淀粉马铃薯品种块茎的淀粉积累对氮肥较为敏感。

2.2 施氮量对马铃薯块茎淀粉产量的影响

由表2可知，施氮量在0～300 kg/hm²时，‘克新22号’和‘克新19号’品种块茎的淀粉产量随着施氮量的增加均呈先增加后降低的趋势，但2个品种达到最高淀粉产量的最佳施氮量不同。高淀粉品种‘克新22号’，施氮量为150 kg/hm²时，淀粉产量达到最大值（11.27 t/hm²）；而低淀粉品种‘克新19号’，施氮量为225 kg/hm²时，淀粉产量达到最大值（8.99 t/hm²）。

表1 不同施氮量处理下马铃薯块茎的淀粉含量

Table 1 Starch content of potato tuber under different nitrogen application rates g/100 g

品种 Variety	施氮量/(kg/hm²) N rates				
	0(CK)	75	150	225	300
克新22号 Kexin 22	21.81±0.31 a	20.87±0.40 b	19.87±0.60 c	18.60±0.06 d	17.63±0.26 e
克新19号 Kexin 19	16.50±0.30 a	15.87±0.05 a	14.99±0.13 b	14.00±0.56 c	13.45±0.35 c

注：不同小写字母表示差异在0.05水平显著。下同。

Note: Different lowercase letter indicate significance at 0.05 level of probability. The same below.

表2 不同施氮量处理下马铃薯块茎的淀粉产量

Table 2 Starch yield of potato tuber under different nitrogen application rates t/hm²

品种 Variety	施氮量/(kg/hm²) N rates				
	0(CK)	75	150	225	300
克新22号 Kexin 22	7.14±0.08 e	10.74±0.04 b	11.27±0.02 a	10.50±0.05 c	10.05±0.08 d
克新19号 Kexin 19	4.68±0.16 e	7.63±0.08 d	8.15±0.18 c	8.99±0.14 a	8.54±0.03 b

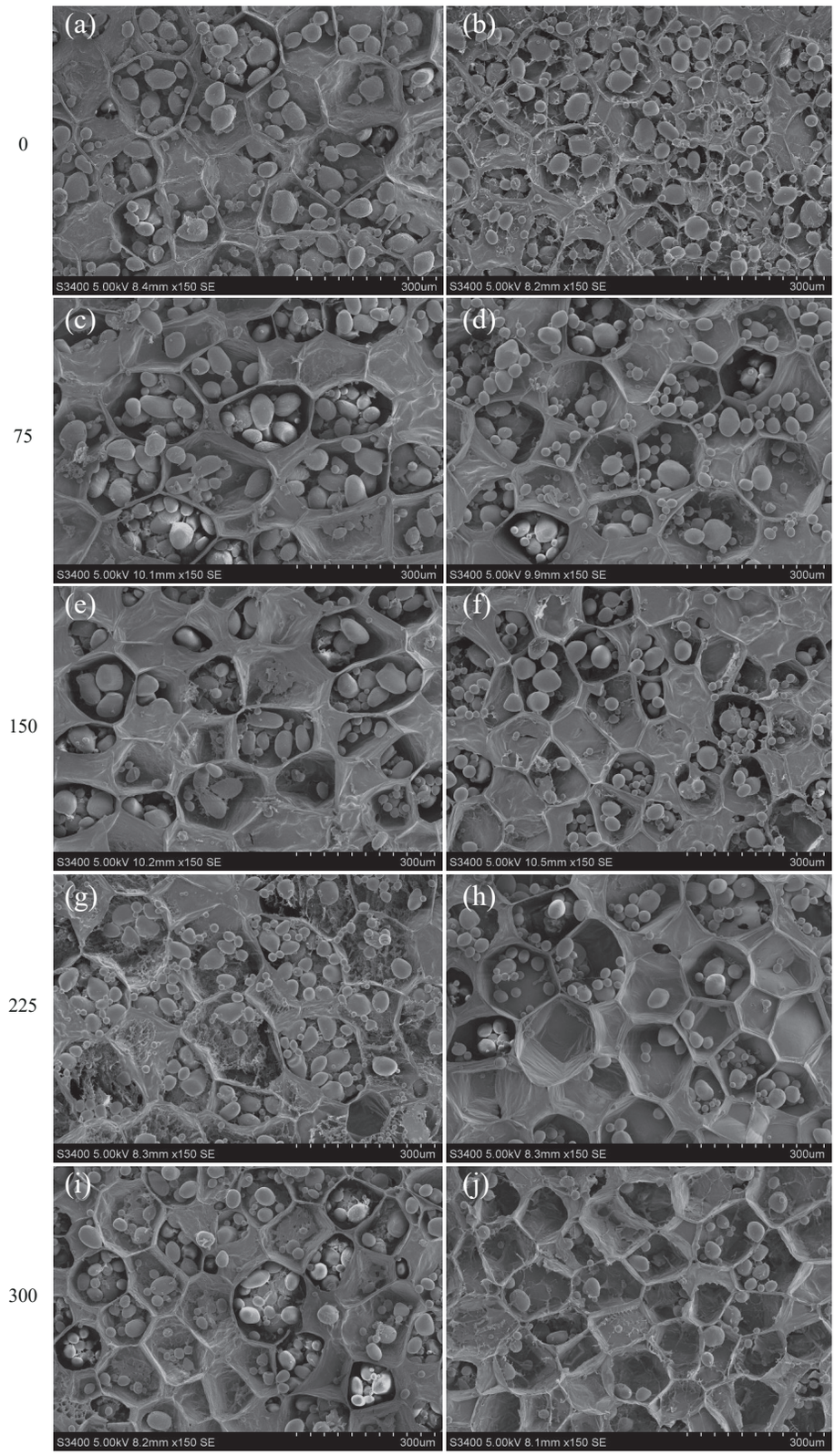
2.3 施氮量对马铃薯块茎细胞单位截面淀粉粒数量和粒径的影响

由表3和图1可知，施氮量在0～300 kg/hm²时，‘克新22号’和‘克新19号’随着施氮量增加，细胞单位截面的淀粉粒数量不断减少，淀粉粒的平均粒径不断变小，造成2个品种块茎微观淀粉粒的含量随施氮量增加呈不断降低的趋势，与块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈不断降低的趋势一致。从粒径的分布情况来看，‘克新22号’和‘克新19号’品种，随着施氮量的增加，$d<30$ μm的淀粉粒所占比例逐渐增加，$d\geqslant30$～50 μm和≥50 μm的淀粉粒所占比例均逐渐减少。

表3 不同施氮量处理下马铃薯块茎淀粉粒性状的变化

Table 3 Changes of starch grain properties of potato tuber under different nitrogen application rates

品种 Variety	施氮量/(kg/hm²) N rates	淀粉粒数量/(个/视野) Number of starch granules	d/μm	所占比例/% Proportion		
				<30 μm	≥30～50 μm	≥50 μm
克新22号 Kexin 22	0(CK)	296±4 a	29.5±1.4 a	55.4±1.0 e	21.1±0.9 a	23.4±1.8 a
	75	290±3 ab	27.3±0.6 b	61.0±1.2 d	18.6±0.9 b	20.5±0.4 a
	150	283±3 bc	26.6±0.4 b	66.6±1.7 c	17.0±0.5 c	16.4±1.5 b
	225	279±3 cd	25.7±0.3 b	75.7±1.1 b	14.7±0.4 d	9.6±0.7 c
	300	274±1 d	23.2±1.2 c	80.5±2.2 a	11.8±0.6 e	7.7±2.3 c
克新19号 Kexin 19	0(CK)	349±12 a	23.2±0.2 a	71.9±1.1 d	17.0±0.5 a	11.1±0.7 a
	75	317±19 a	22.8±0.1 b	75.2±0.9 c	15.2±0.8 b	9.6±0.3 ab
	150	243±15 b	22.4±0.2 c	77.3±0.1 bc	14.1±0.1 bc	8.6±0.1 bc
	225	210±11 bc	21.7±0.2 d	79.6±1.5 b	13.3±0.2 c	7.1±1.4 c
	300	177±21 c	20.1±0.3 e	84.1±2.2 a	11.8±1.2 d	4.1±1.1 d



施氮量/(kg/hm²)
N rates

克新22号 Kexin 22　　克新19号 Kexin 19

图 1　不同施氮量处理马铃薯块茎样品的扫描电镜观察

Fig. 1　Scanning electron microscope observation of potato tuber samples treated with different nitrogen application rates

2.4 施氮量对马铃薯块茎细胞单位截面淀粉体数量和粒径的影响

由表4和图2可知，施氮量在0～300 kg/hm²时，‘克新22号’和‘克新19号’随着施氮量增加，细胞单位截面淀粉体的数量不断减少，淀粉体的平均粒径不断变小，造成2个品种块茎微观淀粉体的含量随施氮量增加呈不断降低的趋势，与块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈不断降低的趋势一致。从粒径的分布情况来看，随着施氮量的增加，‘克新22号’和‘克新19号’块茎中d<30 μm的淀粉体所占比例不断增加，d≥30～50和≥50 μm的淀粉体所占比例均不断减少。

表4 不同施氮量处理下马铃薯块茎淀粉体性状的变化

Table 4 Changes of starch plasmid characters of potato tuber under different nitrogen application rates

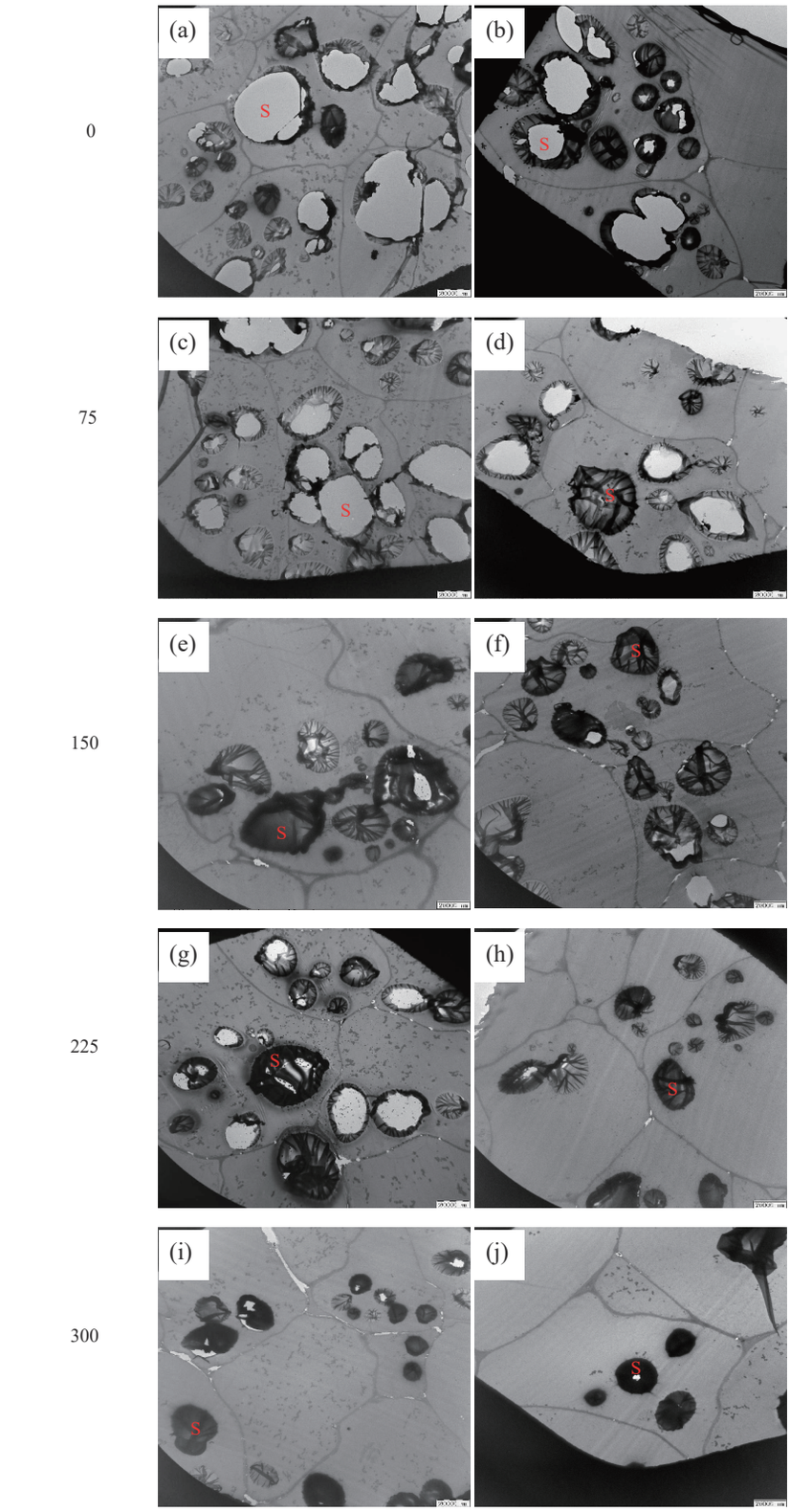
品种 Variety	施氮量/(kg/hm²) N rates	淀粉体数量/(个/视野) Number of starch granules	d/μm	所占比例/% Proportion		
				<30 μm	≥30～50 μm	≥50 μm
克新22号 Kexin 22	0(CK)	33±2 a	25.3±2.0 a	58.6±2.6 e	28.7±2.9 a	12.8±1.0 a
	75	29±1 b	23.7±0.7 ab	66.6±1.7 d	23.3±0.8 b	10.1±1.5 ab
	150	25±1 c	22.7±0.5 bc	73.2±1.0 c	18.5±1.0 c	8.3±1.0 bc
	225	21±2 d	21.1±1.0 c	78.0±1.5 b	15.5±1.0 c	6.5±0.6 c
	300	18±2 d	18.2±0.7 d	91.6±3.3 a	6.5±3.4 d	1.9±2.4 d
克新19号 Kexin 19	0(CK)	24±2 a	23.3±0.5 a	71.0±1.6 d	21.2±0.7 a	7.8±1.0 a
	75	20±1 ab	22.5±0.2 ab	75.2±0.6 c	18.6±0.8 ab	6.3±0.3 ab
	150	18±1 b	21.1±0.3 bc	78.9±0.7 c	15.8±0.8 b	5.3±0.3 b
	225	12±3 c	20.4±0.6 c	83.3±1.8 b	12.2±1.2 c	4.5±0.6 b
	300	9±1 c	17.1±1.5 d	95.9±3.3 a	3.0±2.4 d	1.1±1.7 c

3 讨 论

马铃薯块茎的淀粉含量受遗传特性和栽培条件影响，尤其受氮肥的影响较大[20]。聂向荣[9]和郑顺林等[10]研究均认为，合理的供氮水平可以提高马铃薯块茎的淀粉含量；过高和过低的氮肥均会导致马铃薯块茎淀粉含量降低。李佩华[21]研究认为，高淀粉品种‘西薯1号’和低淀粉品种‘西薯2号’块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势。黄鹏等[22]指出，马铃薯块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈不断降低的趋势。本研究认为，高淀粉品种‘克新22号’和低淀粉品种‘克新19号’块茎的淀粉含量随施氮量的增加均呈不断降低的趋势，与黄鹏[22]的研究结论一致，与聂向荣[9]、郑顺林等[10]和李佩华[21]的研究结论不同。可能由于本研究供试土壤的供氮水平较高，造成块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈不断降低的趋势。

隋启君等[23]研究认为，施用氮肥虽然降低了马铃薯块茎的淀粉含量，但降低幅度小于氮肥增产的幅度，施氮仍可提高马铃薯块茎的淀粉产量，与本研究结论一致。因此，合理增施氮肥可显著提高马铃薯块茎的淀粉产量。

马铃薯块茎的淀粉含量取决于淀粉粒的粒径大小和数量[24]。Zhang等[25]研究施氮水平(0、210和315 kg/hm²)对3个马铃薯品种块茎淀粉粒的粒径(d)大小和不同粒径所占比例的影响认为，增加施氮量会降低马铃薯块茎淀粉的d大小，与本研究结果一致。本研究中，‘克新22号’和‘克新19号’品种，块茎淀粉粒的数量随施氮量增加呈不断减少的趋势，淀粉粒的平均粒径随施氮量增加呈不断变小的趋势，从而造成2个品种块茎的微观淀粉粒含量随施氮量增加呈不断降低的趋势，与马铃薯块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈不断降低的趋势一致。本研究结果显示，增加施氮量会造成d<30 μm的淀



S，淀粉质体。比例尺为 20 000 nm。　S，amyloplast. The scale is 20 000 nm.

图 2　不同施氮量处理马铃薯块茎样品的透射电镜观察

Fig. 2　Transmission electron microscope observation of potato tuber samples treated with different nitrogen application rates

粉粒所占比例增加，而$d \geqslant 30 \sim 50$和$d \geqslant 50$ μm的淀粉粒所占比例不断降低，这与Zhang等[25]的研究结论是一致的。

淀粉体是马铃薯块茎薄壁细胞中重要的细胞器，是淀粉合成和淀粉粒积累的主要场所。本研究认为，‘克新22号’和‘克新19号’品种随着施氮量增加，细胞单位截面上淀粉体的数量不断减少，淀粉体的平均d不断变小，从而造成2个品种块茎的微观淀粉体含量随施氮量增加呈不断降低的趋势，与马铃薯块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈逐渐降低的趋势一致。目前关于氮肥调控淀粉体增殖的机理还不十分清楚，对于氮代谢调控马铃薯块茎淀粉合成的分子机制有待通过后续试验作进一步研究。

4 结 论

施氮量对不同淀粉型马铃薯块茎淀粉积累及相关超微结构具有重要影响。马铃薯块茎淀粉粒的数量随施氮量增加呈不断减少的趋势，淀粉粒的平均粒径随施氮量增加呈不断变小的趋势，导致马铃薯块茎的微观淀粉粒含量随施氮量增加呈不断降低的趋势，马铃薯块茎的淀粉含量随施氮量的增加呈不断降低的趋势；而马铃薯块茎的淀粉产量随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势。高淀粉品种‘克新22号’和低淀粉品种‘克新19号’，施氮量为0 kg/hm^{2}时，块茎的淀粉含量最高，淀粉粒和淀粉体的粒径最大，块茎中$d<30$ μm的淀粉粒和淀粉体所占比例最低，$d \geqslant 30 \sim 50$和$\geqslant 50$ μm的淀粉粒和淀粉体所占比例最高。高淀粉品种‘克新22号’施氮量为150 kg/hm^{2}时，块茎的淀粉产量最高，而低淀粉品种‘克新19号’施氮量为225 kg/hm^{2}时，块茎的淀粉产量最高。

参考文献 References

[1] Bradshaw J E. *Root and Tuber Crops*[M]. London: Springer New York, 2010

[2] Mitchell M, Pritchard J, Okada S, Larroque O, Yulia D N, Pettolino F, Szydlowski N, Singh S, Liu Q, Ral J P. Oil accumulation in transgenic potato tubers alters starch quality and nutritional profile[J/OL]. *Frontiers in Plant Science*, (2017-04-12). DOI: 10.3389/fpls.2017.00554

[3] 周庆锋. 马铃薯淀粉产业现状及发展分析//屈冬玉，陈伊里. 马铃薯产业与小康社会建设[C]. 哈尔滨：哈尔滨工程大学出版社，2014：56-61
Zhou Q F. Current situation and development analysis of potato starch industry// Qu D Y, Chen Y L. Potato industry and construction of well-off society[C]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2014: 56-61 (in Chinese)

[4] 王新伟，滕伟丽，夏平. 中国马铃薯品种资源淀粉含量的分析[J]. 作物品种资源，1998，17(2)：48-49
Wang X W, Teng W L, Xia P. Analysis of starch content of potato variety resources in China[J]. *China's Seed Industry*, 1998, 17(2): 48-49 (in Chinese)

[5] Šimková D, Lachman J, Hamouz K, Vokál B. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(4): 3872-3880

[6] 穆俊祥，曹兴明，弓建国，梁建功，郭美兰. 氮磷钾和有机肥配合施用对马铃薯淀粉含量和产量的影响[J]. 土壤，2009，41(5)：844-848
Mu J X, Cao X M, Gong J G, Liang J G, Guo M L. Effects of combined application of N, P, K and organic fertilizers on starch content and yield of potatoes[J]. *Soils*, 2009, 41(5): 844-848 (in Chinese)

[7] 柳强娟，康建宏，吴佳瑞，孙建波，马雪莹，王星强，坚天才. 施氮量对宁夏旱区马铃薯块茎淀粉形成和产量的影响[J]. 核农学报，2021，35(5)：1196-1208
Liu Q J, Kang J H, Wu J R, Sun J B, Ma X Y, Wang X Q, Jian T C. Effects of nitrogen application amount on formation and yield of potato tuber starch in Ningxia arid region[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Scences*, 2021, 35(5): 1196-1208 (in Chinese)

[8] 董茜，郑顺林，李国培，袁继超. 施氮量及追肥比例对冬马铃薯块茎品质形成的影响[J]. 西南农业学报，2010，23(5)：1571-1574.
Dong Q, Zheng S L, Li G P, Yuan J C. Effect of nitrogen level and top dressing proportion on quality of winter potato[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 23(5): 1571-1574 (in Chinese)

[9] 聂向荣. 不同氮肥水平下马铃薯品质变化及氮素营养诊断的研究[D]. 呼和浩特：内蒙古农业大学，2009
Nie X R. Study on the tuber quality and plant nitrogen status diagnosis of potato under different nitrogen levels[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009 (in Chinese)

[10] 郑顺林，王西瑶，马均，袁继超，李首成. 营养水平对马铃薯块茎发育中激素、产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2008，14(3)：515-519
Zheng S L, Wang X Y, Ma J, Yuan J C, Li S C. Effects of nutritional level on hormones, yield and quality in the process of tuber formation in potato[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(3): 515-519 (in Chinese)

[11] Zebarth B J, Rosen C J. Research perspective on nitrogen bmp development for potato[J]. *American Journal of Potato Research*, 2007, 84(1): 3-18

[12] Long C M, Snapp S S, Douches D S, Chase R W. Tuber yield, storability and quality of Michigan cultivars in response to nitrogen management and seedpieces spacing[J]. *American Journal of Potato Research*, 2004, 81(5): 347-357

[13] 白建明，杨琼芬，杨万林，李先平，李世锋，杨丽英，隋启君. 马铃薯产量和淀粉产量与品种及栽培措施的关系[J]. 中国马铃薯，2006，20(3)：160-162
Bai J M, Yang Q F, Yang W L, Li X P, Li S F, Yang L Y, Sui Q J. Effect of potato cultivar and agronomic practice on the yield of tuber and starch[J]. *Chinese Potato Journal*, 2006, 20(3): 160-162 (in Chinese)

[14] 胡国瑞. 冬种马铃薯块茎淀粉积累规律研究[D]. 南宁：广西大学，2020
Hu G R. Study on starch accumulation of potato tubers planted in winter[D]. Nanning: Guangxi University, 2020 (in Chinese)

[15] Sui Z Q, Kong X L. *Physical Modifications of Starch*[M]. Singapore:

Springer Singapore,2018

[16] 黑龙江省农业科学院马铃薯研究所．中国马铃薯栽培学[M]．北京：中国农业出版社，1994:37-41

Potato Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences. *Potato Cultivation in China*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994: 37-41 (in Chinese)

[17] Komiya T, Yamada T, Nara S. Crystallinity of acid treated corn starch [J]. *Starch*, 1987,39(9): 308-311

[18] Thomson W W, Whatley J M. Development of nongreen plastids[J]. *Annual Review of Plant Physiology*,1980,31:375-394

[19] NY/T 11—1985 中华人民共和国国家标准局．谷物籽粒粗淀粉测定法[S]．北京：中国标准出版社，1985

NY/T 11—1985 State Bureau of Standards of the People's Republic of China. Determination of crude starch in cereals seeds [S]. Beijing: Standards Press of China, 1985

[20] 邓兰生，林翠兰，龚林，涂攀峰，胡克纬，张承林．滴灌施用不同氮肥对马铃薯生长的影响[J]．土壤通报，2011，42(1)：141-144

Deng L S, Lin C L, Gong L, Tu P F, Hu K W, Zhang C L. Effects of different nitrogen fertilizers on growth of potato under drip fertigation [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(1): 141-144 (in Chinese)

[21] 李佩华．氮营养对秋马铃薯块茎发育中淀粉积累的影响[J]．西南农业学报，2014，27(6)：2455-2459

Li P H. Effect of nitrogen nutrition on starch accumulation in process of tuber development of autumn *Solanum tuberosum* L[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 27(6):2455-2459 (in Chinese)

[22] 黄鹏，温随良，晋小军．甘肃主要土壤的理化性质对马铃薯品质的影响[J]．甘肃农业大学学报，1996，31(3)：257-262

Huang P, Wen S L, Jin X J. Effects of physical and chemical properties of main soils type on potato quality in Gansu Province[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 1996, 31(3): 257-262 (in Chinese)

[23] 隋启君，姜兴亚，任珂．施肥和种植密度对马铃薯淀粉产量及相关性状的影响[C]//中国作物学会马铃薯专业委员会 1999 年年会论文集．呼和浩特：中国作物学会马铃薯专业委员会，1999

Sui Q J, Jiang X Y, Ren K. Effect of fertilizers application and planting density on potato starch yield [C]//Chinese Crop Society potato professional committee Proceedings of the 1999 Annual Conference. Hohhot: Chinese Crop Society potato professional committee, 1999, 76-78 (in Chinese)

[24] 门福义，郭淑敏，刘梦芸，蒙美莲．马铃薯高淀粉生理基础的研究-块茎淀粉含量与植株若干生理特性[J]．中国马铃薯，1993,7(1):1-6

Men F Y, Guo S M, Liu M Y, Meng M L. Study on high starch physiological basis of potato-the relationship between tuber starch content and some physiological characteristic of plant [J]. *Chinese Potato Journal*,1993,7(1):1-6 (in Chinese)

[25] Zhang H Q, Zhao Z Q, Song B T, Du P, Liu X W. Light-induced ultrastructure changes of amyloplasts and effect of nitrogen fertilization on greening in potato tubers (*Solanum tuberosum* L) [J/OL]. *Postharvest Biology and Technology*, (2020-06-19). DOI: 10.1016/j.postharvbio.2020.111275

责任编辑：吕晓梅

第一作者简介：李勇，安顺学院农学院副教授，硕士生导师。主要从事薯类作物遗传育种和薯类栽培学与耕作学方面的教学和科研工作，研究方向为马铃薯分子生物学、马铃薯遗传育种和马铃薯栽培生理。先后主持国家级、省部级、市厅级和校级项目12项，参加国家级、省部级和市局级课题24项。获中华农业科技进步二等奖1项，获中华农业科技进步三等奖2项，获得黑龙江省政府科技进步二等奖2项，获黑龙江省农业科技进步一等奖3项，获黑龙江省农业科技进步二等奖1项，获得哈尔滨市科技进步二等奖1项。获得国家发明、实用新型和外观设计等专利12项。申请农业行业标准4项。出版论著1部。在*Plants*、*Potato Research*、《中国农业大学学报》等国内外刊物发表论文50余篇。选育马铃薯新品种2个。