

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2023)03-0227-09

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2023.03.004

土壤肥料

加工型马铃薯品质对氮钾肥供应的响应

宋雪微^{1,2}, 商靖雯^{1,2}, 杨晓彤^{1,2}, 石 瑛^{1,2*}

(1. 东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030;

2. 寒地粮食作物种质创新与生理生态教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 加工型马铃薯品种对块茎干物质含量、淀粉含量、还原糖含量等品质指标有严格要求, 这些指标与养分供给息息相关。为了解不同加工型马铃薯品种对氮钾肥的偏好, 在东北黑土条件下, 以‘东农314’和‘东农322’两个自主选育的加工型新品种为供试材料、‘大西洋’为对照, 设置常肥、高钾、高钾高氮3个不同的氮钾配比, 从块茎膨大期开始取样直至收获, 比较分析3个加工型品种块茎干物质含量、淀粉含量、还原糖含量以及粗蛋白含量的差异。‘东农322’在施用常肥 N 109.5 kg/hm²、K₂O 112.5 kg/hm²时块茎的加工品质较好, ‘东农314’和对照品种‘大西洋’对氮钾肥的吸收规律相同, 在常肥基础上增施37.5 kg/hm²钾肥可以增加块茎中干物质含量、降低还原糖含量, 提升其加工品质。因此, ‘东农314’和‘东农322’两个新品种施用合适的氮钾肥均可作为加工型品种推广应用。

关键词: 马铃薯; 氮钾配施; 干物质; 淀粉; 还原糖; 粗蛋白

Quality of Processing Potatoes in Response to Nitrogen and Potassium Fertilizer Supply

SONG Xuewei^{1,2}, SHANG Jingwen^{1,2}, YANG Xiaotong^{1,2}, SHI Ying^{1,2*}

(1. College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China; 2. Key Laboratory of Germplasm Enhancement, Physiology and Ecology of Food Crops in Cold Region, Ministry of Education, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: Processing potato varieties have strict requirements for tuber dry matter content, starch content, reducing sugar content and other quality indexes, which are closely related to nutrient supply. In order to understand the preference of different processing potato varieties for nitrogen and potassium fertilizer, two new processing potato varieties, 'Dongnong 314' and 'Dongnong 322', were selected as test materials and the 'Atlantic' was used as a control under the conditions of black soil in northeast China. Three different treatments, regular fertilizer application, high potassium application, and high potassium and high nitrogen application, were set up in this experiment. Samples were taken from tuber bulking stage until harvest. The differences of dry matter content, starch content, reducing sugar content and crude protein content in tubers of the three processing varieties were compared and analyzed. The tuber quality of 'Dongnong 322' was better when regular fertilization, N 109.5 kg/ha and K₂O 112.5 kg/ha, were applied.

收稿日期: 2023-05-23

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金(CARS-09)。

作者简介: 宋雪微(1997-), 女, 硕士研究生, 主要从事马铃薯育种及品质调控研究。

*通信作者(Corresponding author): 石瑛, 副研究员, 主要从事马铃薯育种及栽培研究, E-mail: yshi@neau.edu.cn。

'Dongnong 314' and control variety 'Atlantic' had the same nitrogen and potassium absorption pattern. Additional application of 37.5 kg/ha potassium fertilizer on the basis of regular fertilization increased dry matter content, but decreased reducing sugar content in tubers, improving the processing quality. Therefore, the two new varieties of 'Dongnong 314' and 'Dongnong 322' could be promoted and applied as processing varieties with appropriate nitrogen and potassium fertilizer application.

Key Words: potato; combined nitrogen and potassium application; dry matter; starch; reducing sugar; crude protein

中国是马铃薯种植大国。随着人们生活水平的提高,薯制品需求快速增长,极大地带动了马铃薯加工业的发展^[1]。加工型马铃薯对块茎干物质含量、淀粉含量与品质、还原糖含量、耐褐变特性、耐低温糖化特性等品质指标均有要求^[2]。这些指标不仅与马铃薯自身遗传因素有关,还与种植期间的养分管理有密切联系,其中氮钾等主要营养元素的用量与配施对其均能产生影响。研究发现,增施氮肥能够使马铃薯地上茎和叶干物质积累得到显著提高,但不利于干物质在马铃薯地下块茎中的积累^[3],施氮时间、氮肥用量及利用率是提高马铃薯产量及增加经济效益的关键因素^[4]。马铃薯块茎品质与氮素也有密切关系,过量的氮肥不利于马铃薯块茎中淀粉积累,随施氮量增加,可溶性糖含量呈增加趋势^[5,6]。一般来说,在黑龙江省马铃薯主产区氮肥的适宜用量为175~201 kg/hm²^[7]。马铃薯是典型的高产喜钾作物,钾作为马铃薯需求量最大的矿质养分,对马铃薯的生长发育及品质起着重要作用,适宜的钾肥用量和配比能促进马铃薯生长,提高马铃薯产量和品质^[8]。在中国,不同地区马铃薯田间钾肥用量不同,中国东北地区、西北地区、华北地区、长江中下游地区、东南地区、西南地区钾肥用量分别平均在138.5、137.5、196.9、175.7、273.0和206.3 kg/hm²^[9]。适量增施钾肥有利于马铃薯中干物质含量积累,提高淀粉含量^[10]。合理的氮钾配施对于作物生长发育有重要意义,氮钾比增加,马铃薯的生长发育进程延长,块茎蛋白质含量升高;氮钾比降低,块茎干物质、淀粉、还原糖等含量趋于增加;当氮钾为2:3时,马铃薯的平均产量和商品薯率最高^[11];氮钾合理配比

能够显著增加甘薯单株结薯数和单薯重,提高甘薯块根产量^[12]。

前人关于马铃薯对氮肥、钾肥以及氮钾配施的吸收特性已经有了一些报道^[13-17],但针对加工型马铃薯在不同氮钾调控下的各种品质变化的研究甚少。为了进一步了解不同加工型马铃薯对氮钾肥的偏好,本研究采用‘东农314’和‘东农322’两个自主选育的加工型新品种为供试材料,探讨氮钾肥的吸收特性,以期加工型马铃薯品种优质生产提供基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

1.1.1 试验地概况

试验于东北农业大学香坊区向阳乡试验实习基地马铃薯试验区开展,前茬大豆,在整地后施肥前进行土样采集,测得土壤理化性质见表1。小区面积15 m²,60株,行距80 cm;种植密度2 668株/667m²。2020年5月15日播种,9月27日收获。

1.1.2 试验材料

供试材料为课题组育成的两个加工型新品种‘东农314’和‘东农322’,对照品种‘大西洋’。供试肥料为尿素(N 46%)、硫酸钾(K₂O 50%)。

1.1.3 试验设计

田间试验采用二因素裂区设计,3次重复,试验处理9个。主区设置施肥处理:常肥(A1)、高钾(A2)、高钾高氮(A3),其中常肥设置依据当地种植马铃薯常用施肥量。施肥详情见表2。其他肥料为磷酸二铵(N 18%、P₂O₅ 46%),施肥量为P₂O₅ 103.5 kg/hm²。副区设置品种处理:‘东农

314'(B1)、'东农322'(B2)、'大西洋'(B3)。

1.2 测定项目与方法

取样分别于2020年7月26日(块茎膨大期)、8月5日(淀粉积累期a)、8月15日(淀粉积累期b)和9月27日(收获期)进行。从每个小区收获的材料中挑选健康、完整并且大小均匀,有代表性的

马铃薯块茎6~8个,进行清洗后置于避光、通风处晾干,便于后续处理。干物质含量采用烘干法^[18]测定;淀粉含量采用碘量法^[18]测定;还原糖含量采用3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法^[19,20]测定;测定粗蛋白含量采用凯氏定氮法^[18],凯氏定氮仪型号为FOSS Kjeltac™ 2300。

表1 土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soil

pH	碱解氮(mg/kg) Alkali-hydrolyzed nitrogen	有效磷(mg/kg) Available phosphorus	速效钾(mg/kg) Available potassium	有机质(g/kg) Organic matter	全氮(%) Total nitrogen	全磷(%) Total phosphorus	全钾(%) Total potassium
5.84	172.7	60.9	206.0	35.1	0.182	0.054	2.23

表2 施肥情况

Table 2 Fertilization scheme

有效含量 Effective content	常肥(A1)(kg/hm ²) Regular fertilizer application (kg/ha)	高钾(A2)(kg/hm ²) High potassium application (kg/ha)	高钾高氮(A3)(kg/hm ²) High potassium and high nitrogen application (kg/ha)
N	109.5	109.5	144.0
K ₂ O	112.5	150.0	150.0

1.3 数据处理与分析

各品质性状按照二因素裂区设计试验统计方法进行方差分析和差异显著性测验,并依据各指标均值绘制成图。试验数据处理采用Microsoft Excel 2018办公软件,数据统计分析采用DPS 7.05系统。

2 结果与分析

2.1 马铃薯块茎各加工品质性状差异分析

对收获期块茎干物质、淀粉、还原糖和粗蛋白含量进行方差分析和多重比较(表3),淀粉、还原糖、粗蛋白含量在品种间存在极显著差异;干物质含量在不同施肥处理下差异显著,表现为A3显著低于A2,而A1与A2间无显著差异。可见,施肥对干物质含量有一定影响。

2.2 不同氮钾施肥处理的马铃薯块茎加工品质性状表现

为进一步了解加工品质性状在不同施肥条件下的差异,将不同施肥处理下各品种在收获期的

加工品质性状表现绘制成图1。从干物质含量上来看,各品种对氮钾肥的反应相同,均为增施钾肥干物质含量增加,同时增施氮钾肥会使干物质含量下降。在还原糖含量和粗蛋白含量上,'东农314'和'大西洋'两个品种对氮钾肥的偏好一致,增施钾肥还原糖含量大幅下降,同时增施氮钾肥时还原糖含量较增施钾肥处理有大幅升高,涨幅分别在78.4%和77.8%,品质变差;增施氮钾肥对粗蛋白含量影响不大。'东农322'与上述两个品种不同,增施钾肥会使还原糖含量大幅增加,涨幅达38.9%,且粗蛋白含量下降至1.59%;同时增施氮钾肥的条件下还原糖含量降至最低,粗蛋白含量虽有回升但远不及常肥条件下粗蛋白含量高。

综上,氮钾施用量过高(N 144 kg/hm², K₂O 150 kg/hm²)会导致马铃薯块茎干物质含量降低,造成品质下降。'东农314'和'大西洋'两个品种对氮钾肥的偏好一致,适量增施钾肥有利于提升马铃薯加工品质。

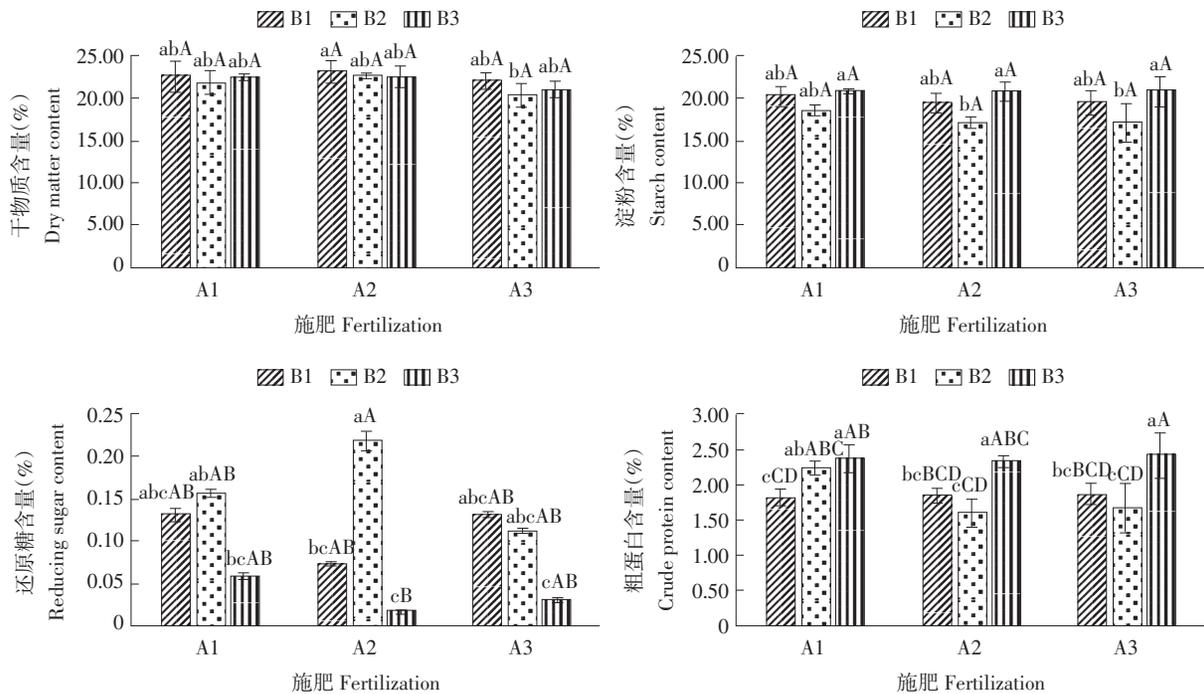
表 3 收获期马铃薯块茎加工品质性状

Table 3 Processing quality traits of potato tuber at harvesting

因素 Factor	水平 Level	干物质(%) Dry matter	淀粉(%) Starch	还原糖(%) Reducing sugar	粗蛋白(%) Crude protein
施肥 Fertilization	A1(常肥)	22.33 abA	20.01 aA	0.12 aA	2.13 aA
	A2(高钾)	22.83 aA	19.21 aA	0.10 aA	1.92 aA
	A3(高钾高氮)	21.17 bA	19.25 aA	0.09 aA	1.97 aA
品种 Variety	B1(东农 314)	22.64 aA	19.85 aAB	0.11 aAB	1.83 bB
	B2(东农 322)	21.63 aA	17.67 bB	0.16 aA	1.82 bB
	B3(大西洋)	22.05 aA	20.96 aA	0.04 bB	2.36 aA

注: 同一因素同列处理平均值后标有不同小写字母表示 0.05 水平差异显著, 大写字母表示 0.01 水平差异极显著, 采用最小显著差数 (Least significant difference, LSD) 法。下同。

Note: Treatment means in the same column for a specific factor followed by different lowercase and uppercase letters indicate significant difference at the 0.05 and 0.01 levels of probability, respectively, as tested using least significant difference (LSD) method. The same below.



注: 误差线代表标准误。A1、A2、A3 分别代表常肥处理、高钾处理、高钾高氮处理。B1、B2、B3 分别代表‘东农 314’‘东农 322’‘大西洋’。不同小写字母表示 0.05 水平差异显著, 不同大写字母表示 0.01 水平差异显著, 采用最小显著差数 (Least significant difference, LSD) 法。下同。

Note: Error bar represents standard error. A1, A2 and A3 represent regular fertilizer application, high potassium application, and high potassium and high nitrogen application, respectively. B1, B2 and B3 stand for 'Dongnong 314', 'Dongnong 322' and 'Atlantic', respectively. Different lowercase and uppercase letters indicate significant difference at the 0.05 and 0.01 levels of probability, respectively, as tested using least significant difference (LSD) method. The same below.

图 1 不同氮钾施肥处理马铃薯块茎的加工品质性状表现

Figure 1 Processing quality traits of potato tuber under different nitrogen and potassium fertilization treatments

2.3 不同氮钾施肥处理的马铃薯块茎加工品质性状动态

为了解加工品质性状在不同施肥条件下动态差异, 将各品种不同施肥处理、不同生育时期的加工品质性状表现绘制成图2~5。

2.3.1 不同氮钾施肥处理的马铃薯块茎干物质含量动态

不同的施肥条件下, 各品种在取样期内的块茎干物质含量变化趋势有一定差异(图2)。常肥处理下, ‘东农314’与‘大西洋’的干物质含量变化动态相似, 两品种的干物质含量在块茎膨大期即处于高位直至收获期, ‘东农322’的干物质含量从块茎膨大期到收获期持续升高。高钾处理

下, ‘东农314’和‘大西洋’两品种的干物质含量在块茎膨大期和淀粉积累期a与常肥处理相比则有降低, ‘东农314’的干物质含量从淀粉积累期b开始高于常肥处理, ‘大西洋’的干物质含量到收获期才高于常肥处理。‘东农322’在此处理下的干物质含量呈先升后降并在淀粉积累期b达到峰值, 其在块茎膨大期、淀粉积累期b和收获期的干物质含量均比常肥处理下有所升高, 钾肥改变了‘东农322’生长期间的块茎干物质积累进程。高钾高氮处理下, ‘东农314’和‘大西洋’高钾高氮处理的干物质含量在不同生育时期多数低于其他施肥处理, ‘东农322’高钾高氮处理的干物质含量多数高于常肥处理但低于高钾处理。

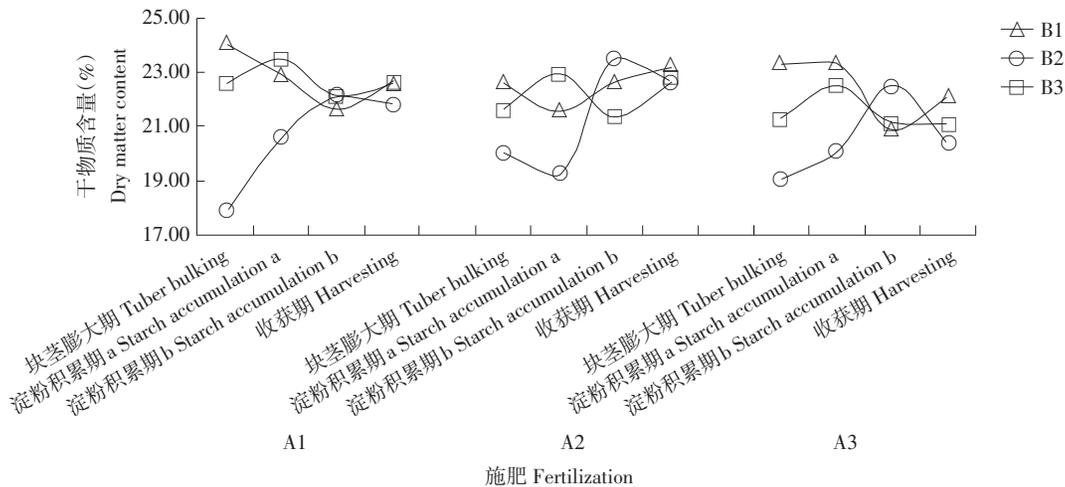


图2 氮钾调控下不同时期不同品种干物质含量

Figure 2 Dry matter content of different varieties at different growth stages under regulation of nitrogen and potassium

可见, ‘东农314’与‘大西洋’两个品种的块茎干物质积累趋势相似, 收获期的块茎干物质含量受施肥影响较大, 高钾高氮处理下两个品种分别比常肥处理减少0.58%和1.43%。‘东农322’在各处理下均表现出生育后期干物质含量下降。

2.3.2 不同氮钾施肥处理的马铃薯块茎淀粉含量动态

不同的施肥条件下, 各品种在取样期内的块茎淀粉含量变化趋势有一定差异(图3)。常肥处理下, ‘东农314’与‘大西洋’的淀粉含量均在收获期达到峰值(20.40%和21.03%); ‘东农322’淀

粉含量从块茎膨大期到淀粉积累期a有明显提升, 涨幅达到了2.09%, 此后淀粉含量开始下降, 在淀粉积累期b达到最低点。高钾处理下, 各品种淀粉含量变化动态相似, 但变化幅度不同。在淀粉积累期a, ‘东农314’和‘大西洋’淀粉含量接近, 而后直至收获期‘大西洋’淀粉含量始终高于‘东农314’淀粉含量; ‘东农322’高钾处理在不同生育时期的淀粉含量变化幅度不大, 在淀粉积累期b与‘东农314’淀粉含量相近。高钾高氮处理下, ‘东农314’和‘东农322’在块茎膨大期淀粉含量即处于高位直至收获期, ‘东农314’淀粉含量

在各生育时期都远高于‘东农322’, 在块茎膨大期有最大差值3.15%。‘大西洋’在此处理下淀粉含

量变化态势与高钾处理相似, 淀粉含量在多数生育时期较A1(常肥)和A2(高钾)两个处理低。

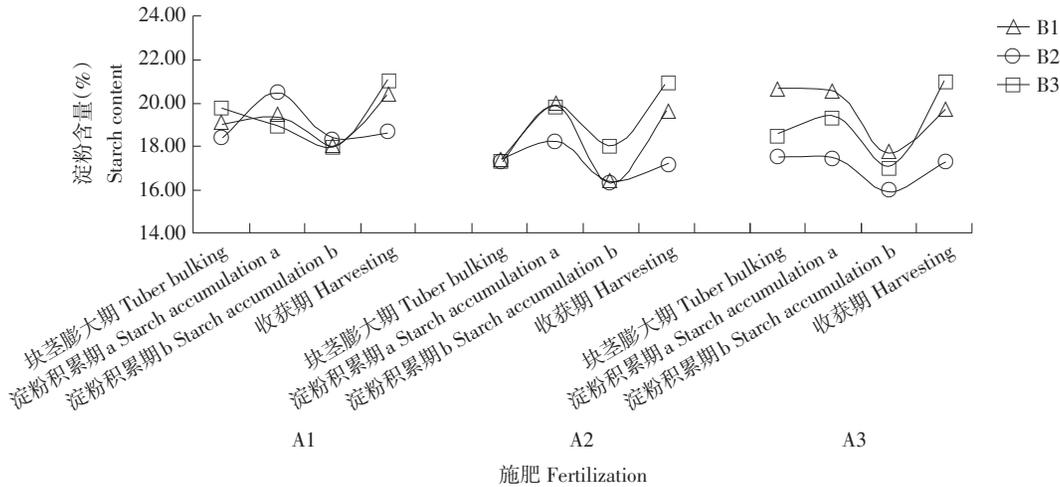


图3 氮钾调控下不同时期不同品种淀粉含量

Figure 3 Starch content of different varieties at different growth stages under regulation of nitrogen and potassium

施肥对于不同加工型品种块茎淀粉积累的调控方向和程度是不同的, 常肥处理和高钾处理下, ‘东农314’与‘大西洋’两个品种的块茎淀粉积累趋势相似, 在块茎膨大期受施肥影响较大。高钾高氮处理改变了‘东农322’和‘东农314’生育期间的块茎淀粉积累进程, 二者在块茎膨大期淀粉积累量达到峰值。

2.3.3 不同氮钾施肥处理的马铃薯块茎还原糖含量动态

不同的施肥条件下, 各品种在取样期内的块茎还原糖含量变化趋势有一定差异(图4)。常肥处理下, 3个品种还原糖含量变化动态相似, ‘大西洋’还原糖含量在取样期内呈下降趋势, 大多时期还原糖含量低于其他两个品种, 尤其在收获期还原糖含量仅有0.06%。高钾处理下, ‘东农314’和‘大西洋’还原糖含量呈先降后升再下降趋势, ‘东农314’还原糖含量始终高于‘大西洋’; ‘东农322’在整个取样期内还原糖含量变化不大。高钾高氮处理下, 3个品种还原糖含量变化呈现出相似的态势, 整体呈下降趋势, ‘大西洋’还原糖含量始终处于较低水平, 在收获期‘东农322’和‘大

西洋’还原糖含量均低于常肥处理。

综上, ‘东农314’和‘大西洋’两个品种的块茎还原糖积累趋势相似, 在淀粉积累期受施肥影响较大。‘东农322’的块茎还原糖积累特性与其他两个品种不同, 主要表现在收获期。

2.3.4 不同氮钾施肥处理的马铃薯块茎粗蛋白含量动态

不同施肥条件下, 各品种在取样期内的块茎粗蛋白含量变化趋势有一定差异(图5)。常肥处理下, ‘大西洋’在整个取样期内粗蛋白含量呈直线上升趋势, ‘东农314’粗蛋白含量在淀粉积累期b有所下降, 随后又上升, ‘东农322’粗蛋白含量在取样前期较前两个品种高, 达1.77%, 在淀粉积累期a后呈上升态势。3个品种在淀粉积累期a粗蛋白含量相近。高钾处理下, ‘大西洋’在淀粉积累期a粗蛋白含量明显降低。‘东农314’粗蛋白含量变化幅度较常肥处理下更大, 在淀粉积累期a粗蛋白含量最高, 达1.90%, 此后开始降低, 在淀粉积累期b达最低点1.68%。‘东农322’粗蛋白含量在整个取样期间呈下降趋势, 在收获期有小幅上升。高钾高氮处理下, ‘大西洋’粗蛋白含量在整

个取样期间呈先上升后下降的趋势, 在淀粉积累期b达到最高值2.48%, 之后有小幅下降。‘东农314’在取样前期粗蛋白含量变化不大, 后期有明显

升高, 在收获期达到最高1.85%。‘东农322’在取样前期粗蛋白含量始终高于‘东农314’, 后期有明显降低, 在收获期降至1.65%。

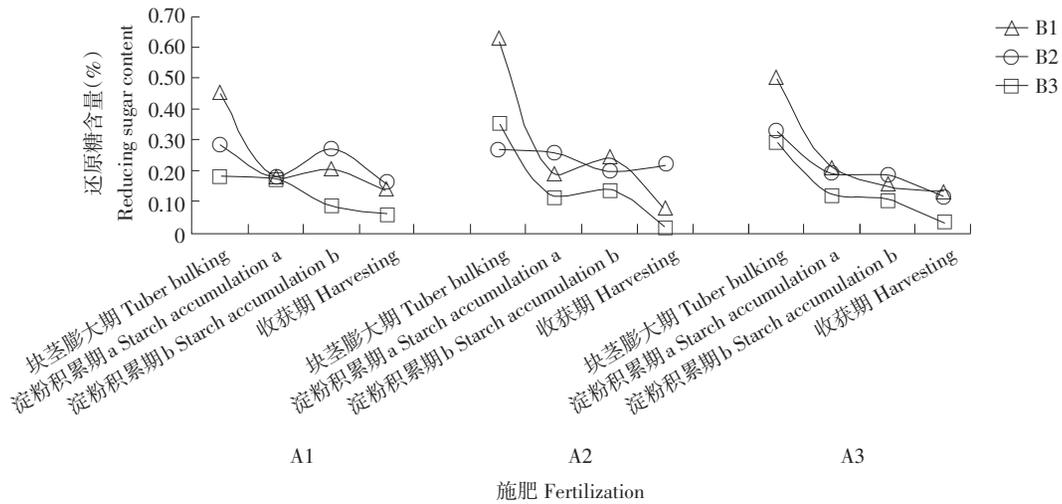


图4 氮钾调控下不同时期不同品种还原糖含量

Figure 4 Reducing sugar content of different varieties at different growth stages under regulation of nitrogen and potassium

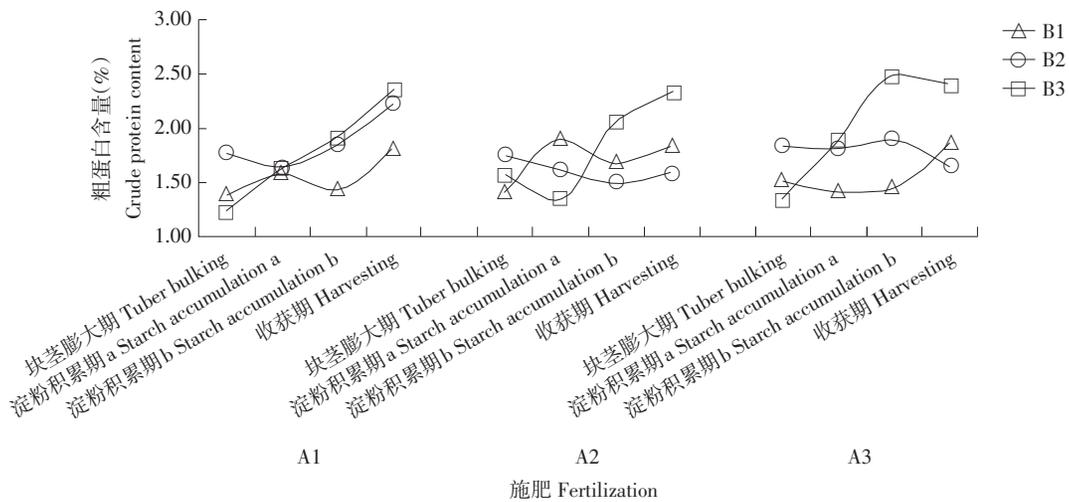


图5 氮钾调控下不同时期不同品种粗蛋白含量

Figure 5 Crude protein content of different varieties at different growth stages under the regulation of nitrogen and potassium

可见, 氮钾肥对各品种粗蛋白含量的影响主要表现在淀粉积累期。对于‘东农314’和‘大西洋’两个品种来说, 增施钾肥和同时增施氮肥和钾肥

对收获时期粗蛋白含量影响不大, ‘东农322’的粗蛋白含量在常肥处理下表现较好, 施用更多的氮钾肥并不利于‘东农322’粗蛋白的积累。

3 讨 论

与其他作物相比, 马铃薯在整个种植过程中对肥料的需求量较大, 其中氮肥和钾肥对马铃薯的品质有直接影响。因此, 了解不同马铃薯品种对氮肥和钾肥的吸收规律才能更好地把握种植过程中肥料的施用, 进而达到丰产优质栽培的目的。对于加工型马铃薯品种来说, 适度提高干物质含量, 降低还原糖含量来保证油炸加工品质是肥料配施主要的调控方向。适量施用氮肥对马铃薯的干物质积累有促进作用^[21], 氮钾比降低时, 块茎的干物质含量趋向增加; 但钾肥的比例过高会降低块茎产量和品质^[22]。本研究得出相同结论, 合理施用氮肥的前提下适量增施钾肥能促进块茎中干物质积累。在马铃薯块茎干物质中, 最能代表块茎品质的是淀粉含量。适量增施钾肥能使马铃薯块茎中淀粉含量升高^[23-26]。也有试验结果表明, 马铃薯淀粉含量由自身遗传特性决定, 肥料配比对马铃薯的淀粉含量影响不大^[27,28]。本试验结果与前人试验结果有所不同, 查阅天气资料, 获悉在淀粉积累期曾有过强降雨。有研究表明, 马铃薯整个生育期过多的降雨不利于淀粉的积累, 尤其9月的降雨对淀粉的积累不利^[29]。本试验结果中增施钾肥使各品种块茎中淀粉含量下降的原因可能是取样期间的强降雨极大影响了块茎中淀粉的积累。还原糖含量制约马铃薯油炸加工的品质。前人研究中发现, 过高或过低的营养水平均能增加马铃薯可溶性糖含量^[30], 马铃薯块茎中还原糖含量随着施氮量的增加而增大^[31]。此外, 糖分含量还与氮钾互作水平相关^[32]。本研究中增施钾肥使多数品种还原糖含量下降, 同时增施氮钾肥时还原糖含量较单独增施钾肥时高, 说明氮钾互作对于还原糖的积累有一定影响作用, 作用幅度因品种而异。蛋白含量的多少决定了马铃薯品种是否能用于主食加工。前人研究表明, 钾肥可以显著提高马铃薯总蛋白含量^[33], 随着施钾量的增加马铃薯蛋白质含量呈先增后减的变化趋势, 并不是施钾量越高, 马铃薯蛋白质含量越高^[34]。一般来说, 块茎粗蛋白含量随着施氮量的

增加而升高^[35], 氮钾互作对蛋白的积累也有一定影响^[36]。本试验中多数品种粗蛋白含量随着氮钾肥的施用量增加而升高证实了上述结论。

‘大西洋’是中国广大区域主栽的加工型品种, 主要用于全粉加工和油炸加工。夏锦慧^[37]研究得出, 在贵州省‘大西洋’对氮、磷、钾的吸收比例为 $N:P_2O_5:K_2O = 1:0.175:2.142$; 姜丽霞^[38]研究得出, 在内蒙古自治区‘大西洋’每生产1 000 kg块茎吸收 $N:P:K$ 量(kg)为 $1.69:0.51:3.39$ 。可见, 在不同地区, 同一品种马铃薯对于肥料的吸收规律不同。‘东农314’是以‘大西洋’为母本在东北黑土条件下选育而成的加工型新品种, 其干物质含量较高、还原糖含量低, 适于炸片和全粉加工^[39]。要解决国内加工型马铃薯的卡脖子问题, 就要从如何利用国内优质新品种入手。本研究得出在碱解氮含量 172.7 mg/kg , 速效钾含量 206.0 mg/kg 的东北黑土上种植马铃薯, 氮钾施用量过高($N\ 144\text{ kg/hm}^2$, $K_2O\ 150\text{ kg/hm}^2$)会引起马铃薯块茎干物质含量降低。‘东农322’在施用 $N\ 109.5\text{ kg/hm}^2$ 、 $K_2O\ 112.5\text{ kg/hm}^2$ 时块茎的加工品质较好, 因此种植时不宜施用过多的氮肥和钾肥; ‘东农314’与‘大西洋’对氮钾肥的吸收规律相同, 在常肥基础上增施 37.5 kg/hm^2 钾肥有利于提升马铃薯加工品质。

[参 考 文 献]

- [1] 何敏. 马铃薯加工业的现状与发展 [J]. 中国食品, 2021(1): 105.
- [2] 仇菊, 朱宏, 朱大洲, 等. 不同加工用途马铃薯品质特性分析 [J]. 中国马铃薯, 2019, 33(6): 372-378.
- [3] Darwish T M, Atallah T W, Hajhasan S, *et al.* Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 85(1-2): 95-104.
- [4] Rens L R, Zotarelli L, Cantliffe D J, *et al.* Biomass accumulation, marketable yield, and quality of Atlantic potato in response to nitrogen [J]. *Agronomy Journal*, 2015, 107(3): 931-942.
- [5] 王顺妮, 董文, 陈鑫昊, 等. 施氮水平对湖南地区秋马铃薯生长、产量及品质的影响 [J]. 中国瓜菜, 2020, 33(10): 33-38.
- [6] 董茜, 郑顺林, 李国培, 等. 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.
- [7] 刘双全, 姬景红, 刘颖, 等. 黑龙江省马铃薯氮肥适宜用量研究[J]. 黑龙江农业科学, 2020(9): 42-46.
- [8] 张炜. 钾肥对马铃薯生长发育和淀粉加工特性的影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [9] 徐亚新, 何萍, 徐新朋, 等. 我国马铃薯产量和化肥利用率区域特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(1): 22-35.
- [10] 王文丽, 马忠明, 李娟, 等. 不同钾肥用量对马铃薯产量、品质和效益的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(8): 130-134.
- [11] 郑若良. 氮钾肥比例对马铃薯生长发育、产量及品质的影响[J]. 江西农业学报, 2004(4): 39-42.
- [12] 孙哲, 田昌庚, 陈路路, 等. 氮钾配施对甘薯茎叶生长、产量形成及干物质分配的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(4): 186-191.
- [13] 范向斌, 白小东, 杜培兵, 等. 氮肥施用量对马铃薯养分吸收、产量和品质的影响[J]. 耕作与栽培, 2020, 40(5): 9-13.
- [14] 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.
- [15] 李昊骏. 氮磷钾配施对全膜马铃薯干物质积累分配、产量形成及品质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [16] 曹哲. 雨养区氮钾肥对马铃薯产量和品质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.
- [17] 胡岗, 赵欢, 秦松, 等. 有机钾与化学钾肥配施对黔中马铃薯产量、品质及钾素平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(3): 55-62.
- [18] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [19] 朱海霞, 石瑛, 张庆娜, 等. 3,5-二硝基水杨酸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.
- [20] 梅文泉, 隋启君, 仵注, 等. 马铃薯块茎中还原糖测定的一种方法[J]. 云南农业科技, 2003(3): 23-24.
- [21] 孙建波. 施氮量对宁夏中部干旱带马铃薯淀粉积累及产量的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2018.
- [22] 宋志荣. 不同氮钾比例对马铃薯产量和品质的影响[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(3): 155-157.
- [23] 魏毅. 钾肥施用量对马铃薯生长、产量和品质的影响[J]. 福建农业科技, 2021, 52(7): 35-39.
- [24] 董文, 范祺祺, 胡新喜, 等. 马铃薯养分需求及养分管理技术研究进展[J]. 中国蔬菜, 2017(8): 21-25.
- [25] 汤立阳. 钾素对马铃薯生长、产量及品质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [26] 王文丽, 马忠明, 李娟, 等. 不同钾肥用量对马铃薯产量、品质和效益的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(8): 130-134.
- [27] 郑顺林, 王西瑶, 马均, 等. 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.
- [28] 吴巧玉, 夏锦慧, 何天久. 不同氮钾水平对马铃薯干物质积累和产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 116-118.
- [29] 王立春. 气象要素与马铃薯产量、品质关系的研究[J]. 农业科技通讯, 2008(7): 79-81.
- [30] 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.
- [31] 张祥会, 马晓晓, 董斌, 等. 不同氮钾互作下甘蔗生长表现及土壤养分变化[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(18): 95-102.
- [32] 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.
- [33] 卢茗. 钾肥施用量对马铃薯产量和品质的影响[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2022, 34(5): 44-47.
- [34] 张皓, 周丽敏, 申双和, 等. 不同钾肥施用量对马铃薯产量、品质及土壤质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(11): 116-119.
- [35] 李帅兵. 氮素对马铃薯生长发育、产量及营养品质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [36] 李陶. 氮、钾及氮钾互作对不同甘薯产量品质和养分吸收的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [37] 夏锦慧. 马铃薯“大西洋”干物质积累及氮、磷、钾营养特征研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(4): 267-271, 314.
- [38] 姜丽霞. 施肥对旱作马铃薯不同品种氮磷钾吸收分配及产量的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [39] 石瑛, 单洪波, 邵宇新, 等. 几个加工型马铃薯品种主要品质形成的比较[J]. 中国马铃薯, 2019, 33(1): 8-14.