

中图分类号: S532; S143.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2023)04-0329-09
DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2023.04.004

氮肥减施对不同品种马铃薯生长发育的影响

华玉晨*, 解国庆, 范书华, 王 艳, 张丽微, 赵云彤, 时新瑞, 董清山

(黑龙江省农业科学院牡丹江分院, 黑龙江 牡丹江 157000)

摘 要: 中国用占世界7%的耕地消耗了全球35%的化肥, 大量且不合理的化肥投入导致种植成本增加。随着农药化肥双减政策的推出, 如何减少氮肥投入的同时确保粮食稳产, 已是马铃薯产业实现可持续发展亟待解决的主要问题。选育和推广氮素高效吸收和利用的马铃薯品种是实现中国马铃薯生产可持续健康发展的一条重要途径。试验以‘东农310’‘兴佳2号’‘壮育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’为供试材料, 设置3个施肥梯度分别为无氮(0)、低氮(90 kg/hm²)和常规氮(180 kg/hm²), 综合分析其氮素积累与氮效率差异。在块茎形成期和块茎膨大期随着氮肥的施入整体可显著升高大部分马铃薯品种的干物质积累量和株高。在低氮处理下, ‘兴佳2号’和‘中薯早35’产量显著高于其他4个品种(‘麦肯1号’除外, ‘麦肯1号’与‘兴佳2号’二者差异不显著)。在低氮和常规施氮处理下, ‘东农310’的氮素吸收效率较高, 分别为7.26%和7.49%, 但其氮素农学利用率和氮素偏生产力较低, 并且其产量与其他品种相比并未有显著的优势, 其干物质积累量较多, 可能由于其所积累的氮素主要转运到地上植株。‘壮育薯3’和‘中薯早35’在N 90 kg/hm²处理下的氮素农学利用率较高分别为75.42和96.38 kg/kg, 说明这两个品种随着氮肥的施入, 产量得到了显著的提升。‘中薯早35’在N 90 kg/hm²处理下的氮素偏生产力最高为219.36 kg/kg。对光合色素的研究发现, 块茎形成期的光合色素含量高于块茎膨大期, ‘麦肯1号’有更长的光合作用持续时间。因此, 在氮肥减施的情况下, ‘兴佳2号’和‘中薯早35’可达到较高的产量水平, ‘东农310’的氮素吸收效率能力较强, 但产量相对较低。

关键词: 马铃薯; 氮肥; 生长; 产量

Effects of Reduced Nitrogen Fertilizer Application on the Growth and Development of Different Potato Varieties

HUA Yuchen*, XIE Guoqing, FAN Shuhua, WANG Yan, ZHANG Liwei, ZHAO Yuntong, SHI Xinrui, DONG Qingshan

(Mudanjiang Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang, Heilongjiang 157000, China)

Abstract: China uses 7% of the world's arable land to consume 35% of the world's chemical fertilizer, and a large amount of unreasonable chemical fertilizer inputs lead to increased planting costs. With the introduction of the policy of double reduction of pesticides and fertilizers, how to reduce the nitrogen fertilizer input while ensuring the stable yield of potato crops has become the main problem to be solved urgently for the sustainable development of the potato industry. Breeding and popularizing potato varieties with efficient nitrogen absorption and utilization are an important way to realize the sustainable and healthy development of potato production in China. In this experiment, 'Dongnong 310', 'Xingjia 2', 'Muyushu 3', 'Zaodabai', 'Zhongshuzao 35', and 'Innovator' were used as test materials, and three fertilizer gradients were set as nitrogen free (0), low nitrogen (90 kg/ha), and regular nitrogen (180 kg/ha), to comprehensively

收稿日期: 2023-04-13

基金项目: 牡丹江市应用技术与开发计划(HT2022FG016); 黑龙江省农业科学院牡丹江分院2022年度分院级项目(2022001)。

作者简介: 华玉晨(1994-), 男, 硕士, 研究实习生, 研究方向为马铃薯高产育种与轻简栽培。

*通信作者(Corresponding author): 华玉晨, E-mail: mdjhyc@126.com。

analyze the differences in nitrogen accumulation and nitrogen efficiency. The dry matter accumulation and plant height of most potato varieties were significantly increased with the application of nitrogen fertilizer in the tuber formation and tuber bulking stages. Under the treatment of low nitrogen, the yields of 'Xingjia 2' and 'Zhongshuzao 35' were significantly higher than that of the other four varieties (except 'Innovator', which was not significantly different from 'Xingjia 2'). Under the treatments of low nitrogen and regular nitrogen application, the nitrogen recovery efficiency of 'Dongnong 310' was higher, which was 7.26% and 7.49%, respectively, but its nitrogen agronomic efficiency and partial factor productivity of applied nitrogen were lower. Furthermore, its yield did not have a significant advantage compared with other varieties. Its dry matter accumulation was higher, possibly due to the accumulation of nitrogen mainly transported to above-ground part of plants. The nitrogen agronomic efficiency of 'Muyushu 3' and 'Zhongshuzao 35' under N 90 kg/ha treatment was higher, 75.42 and 96.38 kg/kg, respectively, indicating that these two varieties had a significant increase in yield with the application of nitrogen fertilizer. The partial factor productivity of applied nitrogen of 'Zhongshuzao 35' was the highest, 219.36 kg/kg, under N 90 kg/ha treatment. The study on photosynthetic pigments found that the content of photosynthetic pigments in tuber formation stage was higher than that in tuber bulking stage, and 'Innovator' had a longer duration of photosynthesis. Therefore, under the condition of reducing nitrogen fertilizer application, 'Xingjia 2' and 'Zhongshuzao 35' could achieve higher yield, and 'Dongnong 310' has a stronger nitrogen absorption efficiency, but its yield is relatively low.

Key Words: potato; nitrogen fertilizer; growth; yield

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)属茄科茄属作物, 是世界上第四大粮食作物^[1]。中国拥有400多年的马铃薯种植历史, 目前是世界上最大的马铃薯生产国^[2]。2020年中国马铃薯播种面积为421.8万hm², 占世界的26.6%^[3]。中国人口占世界人口的20%, 粮食产量占世界的25%, 用占世界7%的耕地消耗了全球35%的化肥^[4]。近年来, 科研人员通过品种改良、更新先进栽培耕作技术、增加生产投入等方式提高了作物的产量。其中, 增加化学肥料的投入是显著有效的措施之一^[5,6]。但是, 伴随着作物产量的增加, 过量以及不合理的肥料投入也引起了一系列问题, 如氮肥利用率下降、生产成本增加、空气污染、水体富营养化^[7,8], 破坏土壤结构, 导致土壤酸化板结, 甚至造成环境污染, 严重制约了马铃薯产业的可持续发展^[9]。因此, 寻求广泛应用的解决方案来减少氮肥投入而不降低作物产量变得越来越重要。马铃薯的肥料利用率较低, 相比于三大主粮作物, 浅根系的马铃薯植株对根层以下的肥料吸收能力有限, 造成肥料利用率下降、环境风险增加^[10]。氮肥是影响马铃薯产量的关键因素^[11], 马铃薯产量随氮肥施用量的增加呈现先增加后降低的变化趋势, 氮肥投入不足会显著降低马铃薯块茎产量, 并消耗土壤基础肥力导致产量持续下降^[12]; 氮

肥施用过多会引起马铃薯徒长, 反而降低产量, 导致肥料利用率和品质降低^[13]。

同一植物不同品种之间对氮肥的利用效率在基因型上存在较大差异, 这为通过育种手段, 培育氮高效品种, 减少因氮肥过量施用造成的一系列问题提供了解决思路。本研究在氮肥减施条件下, 利用6个马铃薯品种, 在3种氮素水平, 综合分析不同品种的氮素积累与氮效率差异, 为筛选和培育氮高效型马铃薯品种提供科学依据, 同时也为不同氮效率马铃薯栽培上合理施氮提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验田位于黑龙江省牡丹江市温春镇黑龙江省农业科学院牡丹江分院试验地(N 44.60°, E 129.58°), 属于第二积温带。土壤类型为草甸土, 质地为壤质黏土。土壤有机质含量25.6 g/kg, 全氮含量1.47 g/kg, 全磷含量0.74 g/kg, 速效氮含量69 mg/kg, 速效磷含量13 mg/kg, 速效钾含量177 mg/kg, pH 7.74。

1.2 试验材料

马铃薯选择当地6个主栽品种‘东农310’‘兴佳2号’‘牡育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’为供试材料, 种薯级别为原种。氮肥选用尿素

(N 46%), 磷肥选用重过磷酸钙(P_2O_5 45%), 钾肥选用氯化钾(K_2O 60%)。

1.3 试验方法

试验于2022年4~9月进行。垄距0.8 m, 株距0.25 m, 每个小区9行, 行长5 m, 小区面积36 m², 随机区组排列, 3次重复。2022年4月25日播种, 9月15日收获。氮肥施入设3个处理, 分别为无氮(0)、低氮(90 kg/hm²)和常规氮(180 kg/hm²)(表1), 将肥料全部作为底肥一次性施入。

表1 不同处理肥料用量

Table 1 Fertilization rates of different treatments

处理 Treatment	肥料纯用量(kg/hm ²) Fertilization rate (kg/ha)		
	N	P_2O_5	K_2O
N0	0	120	180
N1	90	120	180
N2	180	120	180

1.4 调查项目及方法

1.4.1 株高及干物质积累量测定

在块茎形成期和块茎膨大期, 每小区去除边行植株连续选取5株调查土壤表面到主茎顶端生长点的高度为植株株高。依据平均株高取样, 每次取3穴植株, 在105℃下杀青30 min, 80℃烘干至恒重, 称量记录各个时期的干物质积累量。

1.4.2 氮素含量测定

利用微型植物样本粉碎机对块茎膨大期植株烘干样进行研磨, 过100目筛后, 用凯式定氮仪(Kjeltec 8400, FOSS)测定各器官氮素含量。

1.4.3 光合色素含量测定

参照植物生理学实验教程^[14]方法对叶绿素及类胡萝卜素含量进行测定, 分别于马铃薯块茎形成期和块茎膨大期取样2次, 每次取3穴植株, 每次选取马铃薯植株倒4叶顶小叶测定。采用乙醇提取, 在波长470, 649和665 nm下测定吸光度, 计算出叶绿素及类胡萝卜素含量。

1.4.4 产量及其构成因素测定

马铃薯成熟后采用小区全收的方式进行测产, 实际收获面积为34.5 m², 分别考察单株结薯数和

单株结薯重, 随后将3个重复取平均数。

1.5 数据分析

氮素吸收效率(Nitrogen recovery efficiency, NRE)(%) = (施氮处理植株氮积累量 - 不施氮处理植株氮积累量)/施氮量 × 100

氮素农学利用率(Nitrogen agronomic efficiency, NAE)(kg/kg) = (施氮处理产量 - 不施氮处理产量)/施氮量

氮素偏生产力(Partial factor productivity of applied nitrogen, PFPN)(kg/kg) = 施氮处理产量/施氮量

使用Microsoft Excel 2010软件整理试验数据和制作表格, 采用SPSS 19.0软件分析数据, 采用最小显著差数(Least significant difference, LSD)法进行样本平均数的差异显著性比较。利用GraphPad Prism 6软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 施氮水平对不同马铃薯品种全株干物质积累量与株高的影响

块茎形成期和块茎膨大期的干物质积累量在不同施氮水平和品种间存在显著差异。各个品种块茎形成期和块茎膨大期的干物质积累量有随着氮肥的施入而增加的趋势。在块茎形成期, N0处理下, ‘东农310’‘兴佳2号’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的干物质积累量要显著高于‘壮育薯3’; 在N1处理下, ‘东农310’和‘中薯早35’的干物质积累量也显著高于‘兴佳2号’‘壮育薯3’‘早大白’和‘麦肯1号’; 在N2处理下, ‘东农310’‘兴佳2号’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的干物质积累量显著高于‘壮育薯3’和‘早大白’。在块茎形成期干物质积累量上, ‘东农310’和‘中薯早35’的N1 > N2 > N0且三组间有显著差异, ‘兴佳2号’的N2 > N1 > N0且三组间有显著差异, ‘壮育薯3’和‘麦肯1号’的N2 > N1 > N0且N2和N1显著高于N0, ‘早大白’的N2 > N1 > N0且N2显著高于N0。在块茎膨大期, 在N0处理下, ‘兴佳2号’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的干物质积累量显著高于‘东农310’‘壮育薯3’和‘早大白’; 在N1处理下, ‘东农310’‘兴佳2号’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的干物质积累量也显著高于‘壮育薯3’和‘早大白’; 在

N2处理下, ‘东农310’和‘中薯早35’的干物质积累量显著高于‘兴佳2号’‘牡育薯3’‘早大白’和‘麦肯1号’。在块茎膨大期, ‘东农310’‘兴佳2号’‘牡育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的干物质积累量均为N2 > N1 > N0且三组间有显著差异(表2)。

块茎形成期和块茎膨大期的株高在不同施氮水平和品种间存在显著差异(表3)。各个品种块茎形成期和块茎膨大期的株高整体随着氮肥的施入而增加。在块茎形成期, 在N0处理下, ‘兴佳2号’的株高显著高于‘东农310’‘牡育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’; 在N1处理下, ‘东农310’‘兴佳2号’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的株高显著高于‘牡育薯3’和‘早大白’; 在N2处理下, ‘东农310’‘兴佳2号’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的株高也显著高于‘牡育薯3’和‘早大白’。在块茎形成期株高上,

‘东农310’‘牡育薯3’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N1 > N2 > N0且N1和N2显著高于N0, ‘兴佳2号’的N1 > N2 > N0且N1显著高于N0和N2, ‘早大白’的三组处理间无显著差异。在块茎膨大期, 在N0处理下, ‘兴佳2号’的株高显著高于‘东农310’‘牡育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’; 在N1处理下, ‘兴佳2号’的株高显著高于‘东农310’‘牡育薯3’‘早大白’和‘中薯早35’; 在N2处理下, ‘东农310’‘兴佳2号’和‘麦肯1号’的株高也显著高于‘牡育薯3’和‘早大白’。在块茎膨大期株高上, ‘东农310’的N2 > N1 > N0且三组间有显著差异, ‘兴佳2号’的N2 > N0 > N1且N2显著高于N0和N1, ‘牡育薯3’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N2 > N1 > N0且N2和N1显著高于N0, ‘早大白’的三组处理间无显著差异。

表2 不同施氮水平对不同马铃薯品种全株干物质积累量的影响

Table 2 Effects of different nitrogen application rates on dry matter accumulation in different potato varieties

品种 Variety	块茎形成期(g) Tuber formation			块茎膨大期(g) Tuber bulking		
	N0	N1	N2	N0	N1	N2
东农310 Dongnong 310	17.80 def	62.64 a	47.94 bc	79.68 g	230.64 b	288.93 a
兴佳2号 Xingjia 2	20.31 def	39.25 c	50.94 b	114.54 f	144.25 e	178.20 d
牡育薯3 Muyushu 3	8.57 g	24.02 d	24.17 d	67.79 g	115.51 f	175.12 d
早大白 Zaodabai	12.51 fg	14.62 efg	21.49 de	79.11 g	114.46 f	134.64 e
中薯早35 Zhongshuzao 35	18.32 def	61.08 a	49.20 b	116.31 f	167.88 d	275.16 a
麦肯1号 Innovator	21.63 de	46.62 bc	49.15 b	103.13 f	139.80 e	199.35 c

注: 不同字母表示处理间在0.05水平上差异显著, 采用最小显著差数(Least significant difference, LSD)法。下同。

Note: Treatment means followed by different letters indicate significant differences at the 0.05 level of probability as tested using least significant difference (LSD) method. The same below.

表3 不同施氮水平对不同马铃薯品种株高的影响

Table 3 Effects of different nitrogen application rates on plant height in different potato varieties

品种 Variety	块茎形成期(cm) Tuber formation			块茎膨大期(cm) Tuber bulking		
	N0	N1	N2	N0	N1	N2
东农310 Dongnong 310	41.11 i	60.61 cd	60.22 cd	58.83 g	71.83 de	80.75 bc
兴佳2号 Xingjia 2	59.17 de	72.83 a	63.72 bed	86.67 b	84.92 bc	106.75 a
牡育薯3 Muyushu 3	44.11 hi	54.39 ef	52.00 fg	58.17 g	70.50 def	71.75 de
早大白 Zaodabai	45.94 hi	44.33 hi	43.00 i	62.75 fg	68.75 ef	70.42 def
中薯早35 Zhongshuzao 35	52.39 fg	66.89 b	65.61 bc	60.08 g	71.42 de	78.42 bed
麦肯1号 Innovator	48.50 gh	63.00 bed	58.39 de	62.08 fg	78.00 cd	85.83 bc

2.2 施氮水平对不同马铃薯品种氮素吸收利用效率的影响

马铃薯的氮素吸收效率、氮素农学利用率和氮素偏生产力各指标在不同施氮水平和品种间差异显著。在N1和N2处理下, ‘东农310’的氮素吸收效率显著高于‘兴佳2号’‘牡育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’。在氮素吸收效率上, ‘东农310’‘牡育薯3’和‘早大白’的两组处理间无显著差异, ‘兴佳2号’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N2>N1且两组间有显著差异。在N1处理下, ‘中薯早35’的氮素农学利用率显著高于‘东农310’‘兴佳2号’‘早大白’和‘麦肯1号’。在N2处理下, ‘东农310’

‘兴佳2号’和‘中薯早35’的氮素农学利用率显著高于‘早大白’。在氮素农学利用率上, ‘东农310’‘兴佳2号’‘早大白’和‘麦肯1号’的两组处理间无显著差异, ‘牡育薯3’和‘中薯早35’的N1>N2且两组处理间有显著差异。在N1处理下, ‘中薯早35’的氮素偏生产力显著高于‘东农310’‘兴佳2号’‘牡育薯3’‘早大白’和‘麦肯1号’。在N2处理下, ‘兴佳2号’和‘中薯早35’的氮素偏生产力也显著高于‘东农310’‘牡育薯3’和‘早大白’。在氮素偏生产力上, ‘东农310’‘兴佳2号’‘牡育薯3’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N1>N2且两组处理间有显著差异, ‘早大白’的两组处理间无显著差异(表4)。

表4 不同施氮水平对不同马铃薯品种氮素吸收利用效率的影响
Table 4 Effects of different nitrogen application rates on nitrogen uptake and utilization efficiency in different potato varieties

品种 Variety	氮素吸收效率(%) NRE		氮素农学利用率(kg/kg) NAE		氮素偏生产力(kg/kg) PFPN	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2
东农310 Dongnong 310	7.26 a	7.49 a	56.67 bcd	42.79 cde	137.75 c	84.18 e
兴佳2号 Xingjia 2	1.83 cde	3.39 b	66.96 bc	43.57 cde	193.34 b	107.95 d
牡育薯3 Muyushu 3	2.82 bc	2.89 bc	75.42 ab	25.13 efg	131.91 c	54.19 f
早大白 Zaodabai	3.42 b	2.27 bcd	7.05 g	18.47 fg	54.11 f	41.82 f
中薯早35 Zhongshuzao 35	1.12 de	3.40 b	96.38 a	46.41 cde	219.36 a	109.23 d
麦肯1号 Innovator	0.54 e	1.91 cd	58.09 bcd	36.68 def	177.99 b	97.74 de

2.3 施氮水平对不同马铃薯品种光合色素含量的影响

施氮水平对不同氮效率马铃薯品种的光合色素含量有着不同程度的影响, 光合色素的含量整体随着施氮量的增加而增加(表5)。在N0处理下, 块茎形成期‘兴佳2号’的叶绿素a含量最高, 而‘中薯早35’的含量最低。在N1处理下, 块茎形成期‘东农310’的叶绿素a含量显著高于‘兴佳2号’‘牡育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’。在N2处理下, 块茎形成期‘东农310’的叶绿素a含量最高, 而‘牡育薯3’的含量最低。在N0和N1处理下, 6个品种的叶绿素b含量无显著差异, 在N2处理下‘兴佳2号’的叶绿素b含量显著高于其他5个

品种。在N0处理下, 块茎形成期‘兴佳2号’的类胡萝卜素含量显著高于‘东农310’和‘中薯早35’。在N1处理下, 块茎形成期‘东农310’的类胡萝卜素含量显著高于‘牡育薯3’和‘中薯早35’。在N2处理下, 块茎形成期‘东农310’的类胡萝卜素含量显著高于其他5个品种。在N0处理下, 块茎形成期‘兴佳2号’的总叶绿素含量最高, 而‘牡育薯3’和‘中薯早35’的含量最低。在N1处理下, 块茎形成期‘东农310’的总叶绿素含量显著高于‘牡育薯3’和‘早大白’。在N2处理下, 块茎形成期‘兴佳2号’的总叶绿素含量最高, 而‘牡育薯3’的含量最低。

在块茎形成期叶绿素a含量上, ‘东农310’的N1>N2>N0且N1和N2显著高于N0, ‘兴佳2号’

‘壮育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N0、N1、N2三组处理间均无显著差异。在块茎形成期叶绿素b含量上,‘兴佳2号’的N2>N1>N0且N2显著高于N1和N0,‘东农310’‘壮育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N0、N1、N2三组处理间均无显著差异。在块茎形成期类胡萝卜素含量上,‘东农310’的N2>N1>N0且N2和N1显著高于N0,‘兴佳2号’‘壮育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N0、N1、N2三组处理间均无显著差异。在块茎形成期总叶绿素含量上,‘东农310’和‘中薯早35’的N1>N2>N0且N1和N2显著高于N0,‘兴佳2号’的N2>N1>N0且N2显著高于N1和N0,‘壮育薯3’和‘早大白’的N2>N1>N0且N2显著高于N0,‘麦肯1号’的N0、N1、N2三组处理间均无显著差异。

在块茎膨大期的光合色素含量普遍低于块茎形成期。在N0、N1和N2处理下,块茎膨大期‘麦肯1号’的叶绿素a含量最高,并显著高于其他5个品种。在N0和N1处理下,块茎膨大期‘麦肯1号’的叶绿素b含量最高,并显著高于其他5个品种。在N2处理下‘兴佳2号’和‘麦肯1号’的叶绿素b含量显著高于‘壮育薯3’和‘中薯早35’。在N0

处理下,块茎膨大期‘东农310’和‘麦肯1号’的类胡萝卜素含量显著高于‘壮育薯3’。在N1处理下,块茎膨大期‘东农310’‘兴佳2号’和‘麦肯1号’的类胡萝卜素含量高于‘壮育薯3’,但差异不显著。在N2处理下,块茎膨大期‘麦肯1号’的类胡萝卜素含量显著高于‘早大白’和‘中薯早35’。在N0、N1和N2处理下,块茎膨大期‘麦肯1号’的总叶绿素含量最高,并显著高于其他5个品种。研究发现,‘麦肯1号’在块茎膨大期的光合色素含量高于其他5个品种。

在块茎膨大期叶绿素a含量上,‘东农310’‘兴佳2号’‘早大白’和‘麦肯1号’的N0、N1、N2三组处理间均无显著差异,‘壮育薯3’的N2>N1>N0且N2和N1显著高于N0,‘中薯早35’的N2>N1>N0且N2显著高于N0。在块茎膨大期叶绿素b和类胡萝卜素含量上,‘东农310’‘兴佳2号’‘壮育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N0、N1、N2三组处理间均无显著差异。在块茎膨大期总叶绿素含量上,‘东农310’‘兴佳2号’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N0、N1、N2三组处理间均无显著差异,‘壮育薯3’的N2>N1>N0且N2显著高于N0(表5)。

表5 不同施氮水平对不同马铃薯品种光合色素含量的影响

Table 5 Effects of different nitrogen application rates on photosynthetic pigment content in different potato varieties

时期 Stage	品种 Variety	叶绿素a(mg/g) Chlorophyll a			叶绿素b(mg/g) Chlorophyll b			类胡萝卜素(mg/g) Carotenoid			总叶绿素(mg/g) Total chlorophyll		
		N0	N1	N2	N0	N1	N2	N0	N1	N2	N0	N1	N2
块茎形成期 Tuber formation	东农310	0.84 cde	1.21 a	1.09 ab	0.19 bc	0.29 bc	0.29 bc	0.15 d	0.28 ab	0.32 a	1.03 de	1.51 ab	1.39 bc
	兴佳2号	0.92 bcd	0.96 bcd	1.03 abc	0.22 bc	0.31 bc	0.55 a	0.27 abc	0.22 bcd	0.24 bc	1.14 cde	1.28 bcd	1.58 a
	壮育薯3	0.76 de	0.75 e	0.88 cde	0.22 bc	0.27 bc	0.25 bc	0.19 bcd	0.16 d	0.18 cd	0.97 fg	1.02 def	1.13 cde
	早大白	0.86 cde	0.87 cde	0.97 bc	0.14 c	0.23 bc	0.32 bc	0.19 bcd	0.19 bcd	0.17 d	0.99 efg	1.11 cde	1.29 bc
	中薯早35	0.73 e	0.86 cde	0.89 cde	0.23 bc	0.38 ab	0.27 bc	0.14 d	0.13 d	0.17 d	0.97 fg	1.24 bcd	1.16 cde
	麦肯1号	0.87 cde	0.97 bc	0.96 bcd	0.23 bc	0.30 bc	0.29 bc	0.18 cd	0.19 bcd	0.19 bcd	1.09 cde	1.28 bcd	1.25 bcd
块茎膨大期 Tuber bulking	东农310	0.55 bcd	0.55 bcd	0.57 bc	0.17 cde	0.22 bcd	0.22 bcd	0.13 ab	0.12 abc	0.13 ab	0.73 cde	0.78 cd	0.79 c
	兴佳2号	0.54 bcd	0.66 ab	0.56 bcd	0.17 cde	0.20 bcd	0.29 abc	0.10 bc	0.12 abc	0.12 abc	0.71 cde	0.86 bc	0.86 bc
	壮育薯3	0.25 g	0.38 def	0.49 bcd	0.11 e	0.15 de	0.16 de	0.05 c	0.05 c	0.11 abc	0.36 f	0.52 ef	0.65 de
	早大白	0.32 fg	0.38 def	0.34 fg	0.16 de	0.16 de	0.17 cde	0.09 bc	0.10 bc	0.09 bc	0.49 ef	0.54 def	0.52 ef
	中薯早35	0.34 fg	0.35 efg	0.40 cde	0.14 e	0.14 e	0.14 e	0.08 bc	0.08 bc	0.09 bc	0.49 ef	0.49 ef	0.55 def
	麦肯1号	0.76 a	0.77 a	0.85 a	0.30 ab	0.36 a	0.27 abc	0.14 ab	0.12 abc	0.18 a	1.06 ab	1.13 a	1.12 a

2.4 施氮水平对不同马铃薯品种产量及其构成因素的影响

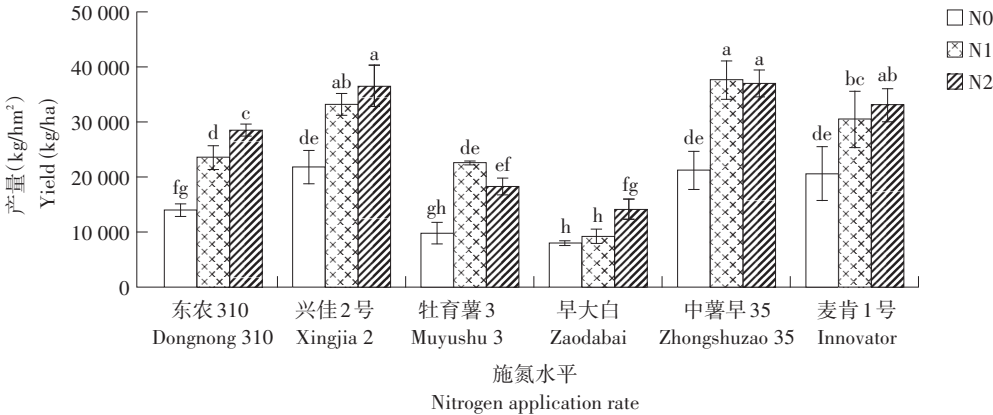
施氮水平对不同氮效率马铃薯品种的产量构成因素有着不同程度的影响。单株结薯重随着氮肥的增加而增加, 不同品种表现一致, 而大部分品种单株结薯数并未随着氮肥的施入有显著变化。在单株结薯数上, 3种氮肥处理下的‘东农310’显著高于‘兴佳2号’‘牡育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’。在单株结薯重上, ‘东农310’的N2>N0>N1且N2显著高于N1和N0, ‘兴佳2号’‘牡育薯3’‘早大白’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N0、N1、N2三组处理间均无显著差异。单株结薯重在3种氮肥处理下的‘兴佳2号’与‘中薯早35’无显著差异且‘兴佳

2号’单株结薯重显著高于‘东农310’‘牡育薯3’和‘早大白’。在单株结薯重上, ‘早大白’的N2>N1>N0且N2显著高于N0, ‘东农310’‘兴佳2号’‘牡育薯3’‘中薯早35’和‘麦肯1号’的N2>N1>N0且N2和N1显著高于N0(‘麦肯1号’除外), 在N0处理下, ‘兴佳2号’的单株结薯重显著高于‘东农310’‘牡育薯3’和‘早大白’。在N1处理下, ‘中薯早35’和‘兴佳2号’的单株结薯重显著高于‘东农310’‘牡育薯3’‘早大白’和‘麦肯1号’。在N2处理下, ‘兴佳2号’和‘中薯早35’的单株结薯重也显著高于‘东农310’‘牡育薯3’‘早大白’和‘麦肯1号’(表6)。

施氮水平对不同马铃薯品种产量的影响存在较大差异(图1)。

表6 不同施氮水平对不同马铃薯品种产量构成因素的影响
Table 6 Effects of different nitrogen application rates on yield components in different potato varieties

品种 Variety	单株结薯数(No.) Tuber number per plant			单株结薯重(kg) Tuber yield per plant		
	N0	N1	N2	N0	N1	N2
东农310 Dongnong 310	9.8 b	9.3 b	11.5 a	0.46 ghi	0.60 def	0.62 de
兴佳2号 Xingjia 2	5.9 c	5.6 cd	5.8 c	0.60 def	0.83 bc	0.88 ab
牡育薯3 Muyushu 3	3.4 f	4.3 def	4.0 ef	0.35 ij	0.56 efg	0.61 def
早大白 Zaodabai	5.2 cde	5.0 cde	5.1 cde	0.30 j	0.42 hij	0.45 ghi
中薯早35 Zhongshuzao 35	5.0 cde	5.2 cde	5.1 cde	0.54 efg	0.89 ab	0.91 a
麦肯1号 Innovator	5.8 c	5.7 cd	5.6 cd	0.48 fgh	0.60 def	0.66 cde



注: 数据为平均值±标准差。不同字母表示处理间在0.05水平上差异显著, 采用最小显著差数(Least significant difference, LSD)法。
Note: Data are presented as mean ± standard deviation. Different letters over treatment means indicate significant differences at the 0.05 level of probability as tested using least significant difference (LSD) method.

图1 不同施氮水平对不同马铃薯品种产量的影响
Figure 1 Effects of different nitrogen application rates on yield in different potato varieties

由图1可知, ‘东农310’ ‘兴佳2号’ ‘早大白’ 和 ‘麦肯1号’ 的产量均随着施氮水平的增加而增加; 而 ‘牡育薯3’ 和 ‘中薯早35’ 的产量随着施氮水平的增加呈先增后减的趋势。在N0处理下, ‘中薯早35’ ‘兴佳2号’ 和 ‘麦肯1号’ 的产量显著高于 ‘东农310’ ‘牡育薯3’ 和 ‘早大白’。在N1处理下, ‘兴佳2号’ ‘中薯早35’ 和 ‘麦肯1号’ 的产量显著高于 ‘东农310’ ‘牡育薯3’ 和 ‘早大白’。在N2处理下, ‘东农310’ ‘兴佳2号’ ‘中薯早35’ 和 ‘麦肯1号’ 的产量显著高于 ‘牡育薯3’ 和 ‘早大白’。

‘东农310’ 的产量 $N2 > N1 > N0$ 且三组处理间有显著差异, ‘兴佳2号’ 和 ‘麦肯1号’ 的产量 $N2 > N1 > N0$ 且N2和N1显著高于N0, ‘牡育薯3’ 的产量 $N1 > N2 > N0$ 且N1和N2显著高于N0, ‘早大白’ 的产量 $N2 > N1 > N0$ 且N2显著高于N1和N0, ‘中薯早35’ 的产量 $N1 > N2 > N0$ 且N1和N2显著高于N0。结果表明, ‘兴佳2号’ 和 ‘中薯早35’ 在氮肥的作用下达到较高的产量(图1)。

3 讨 论

马铃薯在块茎形成期和块茎膨大期的氮素吸收速率很高, 氮素吸收积累量均分别占全生育期的40%, 共80%^[15]。但不同马铃薯品种之间氮吸收能力上存在差异^[16], 试验研究了不同氮水平对马铃薯生长发育指标、氮素积累量的影响, 结果表明, 不同氮水平对株高、干物质积累量、氮素吸收利用率、光合色素含量和产量都具有不同程度的影响。研究发现, 氮肥对各时期的马铃薯的干物质积累量和株高影响显著, 这与前人研究结果一致^[17,18]。在块茎形成期, N1处理下所有品种株高均高于N2处理。在块茎膨大期N1处理下所有品种的干物质积累量和株高均低于N2。可在实践生产当中, 制定相应的施肥总量, 调控在生长发育各个阶段肥料配施比例, 可充分发挥不同马铃薯品种的生长潜力, 如何达到更为精确高效的施肥目标有待进一步研究^[19]。

通过提高作物对氮素的吸收和利用, 是实现作物栽培高产高效的有效途径^[20]。本研究发现, 氮素吸收效率最高的品种为 ‘东农310’, 且与其他5个

品种有显著差异。但是氮素农学利用率和氮素偏生产力最高的两个品种为 ‘兴佳2号’ 和 ‘中薯早35’, 这表明目前马铃薯品种的优势并未得到综合的利用。根据前人的大量研究经验表明, 马铃薯的最佳氮肥施用量在 $N\ 150\sim 250\ \text{kg/hm}^2$ ^[21,22], 本研究中马铃薯氮肥常规施用量在此区间内, 并发现氮肥对 ‘兴佳2号’ 与 ‘中薯早35’ 的增产效应较大, 且产量较高。而氮肥对 ‘早大白’ 的效应并不显著, 且产量较低。前人研究表明, 氮肥的施入可使马铃薯单株结薯数显著增加^[23,24], 但本研究发现, 氮肥的施入对大部分马铃薯单株结薯数的影响并不显著, 提高单株结薯重是增产的主要途径。本研究发现, 不同的马铃薯品种各有特点, ‘牡育薯3’ 和 ‘中薯早35’ 在N1处理下的氮素农学利用率较高, 说明这两个品种随着氮肥的施入, 产量得到了显著的提升。光合色素是植物叶片进行光合作用的物质基础, 直接影响植物光合作用的光能利用, 其含量是反映植物生长状况和光合能力的重要指标^[25]。马铃薯块茎90%~95%的干物质来自于光合产物^[26], 适量的施氮还可提高马铃薯绿叶的同化功能, 延长光合作用时间^[27]。氮是叶绿素所需的必需元素^[28], 叶绿素的生物合成过程为 $L\text{-谷氨酰-tRNA} \rightarrow \text{叶绿素a} \rightarrow \text{叶绿素b}$ ^[29]。而块茎形成期的光合色素含量高于块茎膨大期, 这与前人的研究结果相一致^[30]。但本研究发现, 块茎形成期和块茎膨大期的 ‘麦肯1号’ 光合色素含量相差较小, 且含量相对较高。这说明 ‘麦肯1号’ 可以较其他品种马铃薯有更长的光合作用时间和更强的光合作用能力。

研究发现, 在块茎形成期和块茎膨大期随着氮肥的施入整体可显著升高马铃薯的干物质积累量和株高。 ‘兴佳2号’ 和 ‘中薯早35’ 在低氮条件下, 其产量可达到较高水平, 但其氮素吸收效率不高。在低氮和常规施氮处理下, ‘东农310’ 的氮素吸收效率较高, 但其氮素农学利用率和氮素偏生产力较低; 并且其产量与其他品种相比并未有显著的优势, 其干物质积累量较多, 可能由于其所积累的氮素主要转运到地上植株。 ‘牡育薯3’ 和 ‘中薯早35’ 在 $N\ 90\ \text{kg/hm}^2$ 处理下的氮素农学利用率较高, 说明这两个品种随着氮肥的施入, 产量

得到了显著的提升。对光合色素的研究发现, 块茎形成期的光合色素含量高于块茎膨大期, ‘麦肯1号’有更长的光合作用持续时间。在氮肥减施的情况下, ‘兴佳2号’和‘中薯早35’可达到较高的产量水平, ‘东农310’的氮素吸收效率能力较强, 但产量相对较低。

[参 考 文 献]

- [1] Cho K S, Lee H O, Lee S C, *et al.* Mitochondrial genome recombination in somatic hybrids of *Solanum commersonii* and *S. tuberosum* [J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 8659.
- [2] Gao B, Huang W, Xue X, *et al.* Comprehensive environmental assessment of potato as staple food policy in China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16 (15): 2700.
- [3] 沈升法, 项超, 李兵, 等. 浙江省马铃薯种质资源的表型鉴定与多样性分析 [J]. 浙江农业学报, 2022, 34(11): 2319–2328.
- [4] Cui K, Shoemaker S P. A look at food security in China [J]. NPJ Science of Food, 2018, 2(1): 4.
- [5] Godfray H C J, Beddington J R, Crute I R, *et al.* Food security: the challenge of feeding 9 billion people [J]. Science, 2010, 327 (5967): 812–818.
- [6] Liu X, Zhang Y, Han W, *et al.* Enhanced nitrogen deposition over China [J]. Nature, 2013, 494(7438): 459–462.
- [7] Hakeem K R, Ahmad A, Iqbal M, *et al.* Nitrogen-efficient rice cultivars can reduce nitrate pollution [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2011, 18(7): 1184–1193.
- [8] Gutiérrez R A. Systems biology for enhanced plant nitrogen nutrition [J]. Science, 2012, 336(6089): 1673–1675.
- [9] 华玉晨, 范书华, 董清山, 等. 水肥一体化条件下马铃薯钾肥的合理施用 [J]. 中国马铃薯, 2021, 35(6): 554–561.
- [10] 于静, 熊兴耀, 高玉林, 等. 中国马铃薯不同产区氮肥利用率的比较分析 [J]. 中国蔬菜, 2019(7): 43–50.
- [11] 李成晨, 安康, 索海翠, 等. 广东省冬种马铃薯施肥现状调查与施肥对策 [J]. 热带作物学报, 2019, 40(10): 2054–2060.
- [12] 沈若川, 丁文成, 高强, 等. 基于养分专家系统推荐施肥的北方马铃薯适宜氮肥用量研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28 (5): 880–893.
- [13] 魏峭嵘, 曹敏建, 石瑛, 等. 施氮水平对不同马铃薯品种生长发育及品质性状的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2017, 48(2): 152–158.
- [14] 张立军, 樊金娟. 植物生理学实验教程 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- [15] 贾立国, 秦永林, 于静, 等. 马铃薯养分高效利用理论与技术——内蒙古农业大学马铃薯高产高效创新团队研究进展 [J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2022, 43(5): 31–36.
- [16] 高媛, 韦艳萍, 樊明寿. 马铃薯的养分需求 [J]. 中国马铃薯, 2011, 25(3): 182–187.
- [17] 郑顺林, 李国培, 杨世民, 等. 施氮量及追肥比例对冬马铃薯生育期及干物质积累的影响 [J]. 四川农业大学学报, 2009, 27(3): 270–274.
- [18] 王臣, 尹娟, 赵彦波, 等. 水氮调控对宁夏旱区马铃薯株高、叶绿素和产量的影响 [J]. 节水灌溉, 2020(5): 49–55.
- [19] 袁昊田, 蒙美莲, 陈有君, 等. 马铃薯不同品种氮素吸收转运规律 [J]. 中国马铃薯, 2020, 34(1): 22–30.
- [20] 殷春渊, 张庆, 魏海燕, 等. 不同产量类型水稻基因型氮素吸收、利用效率的差异 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(1): 39–50.
- [21] 郝凯, 贾立国, 秦永林, 等. 氮素对马铃薯源-库关系影响研究进展 [J]. 作物杂志, 2020(3): 22–26.
- [22] 李秋琛, 温江丽, 郭文忠, 等. 氮水平对微型马铃薯种薯特性及氮素吸收的影响 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47(11): 103–108.
- [23] 李文婷. 马铃薯产量形成的源库关系及水氮对其的调控 [D]. 北京: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2016.
- [24] 岳超, 肖石江, 王怀义, 等. 氮肥用量对不同冬马铃薯品种产量及氮肥利用率的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019(2): 119–125.
- [25] 苏兰茜, 白亭玉, 鱼欢, 等. 氮素营养对菠萝蜜幼苗生长及光合荧光特性的影响 [J]. 中国南方果树, 2019, 48(3): 67–72.
- [26] 张宝林, 高聚林, 刘克礼. 马铃薯在不同密度及施肥处理下叶片叶绿素含量的变化 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17(3): 137–140.
- [27] 郑顺林, 李国培, 袁继超, 等. 施氮水平对马铃薯块茎形成期光合特性的影响 [J]. 西北农业学报, 2010, 19(3): 98–103.
- [28] 林一凡, 王瑞, 程宁宁, 等. 缓释氮肥对香蕉苗生长、养分吸收和光合作用的影响 [J]. 中国果树, 2023(1): 64–71.
- [29] 王平荣, 张帆涛, 高家旭, 等. 高等植物叶绿素生物合成的研究进展 [J]. 西北植物学报, 2009, 29(3): 629–636.
- [30] 赵光磊, 张雅奎, 吴凌娟, 等. 分期施肥对马铃薯新品种‘兴佳2号’产量和品质的影响 [J]. 中国农学通报, 2021, 37(35): 20–24.