

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2017)05-0290-06

密度与氮钾肥对‘东农311’光合特性及产量的影响

梁晓丽, 魏峭嵘, 石 瑛*

(东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 以中晚熟鲜食马铃薯品种‘东农311’为试验材料, 研究不同密度和氮钾肥处理下的光合特性及产量性状, 以便为该品种的丰产优质栽培提供理论依据。结果表明, 光合特性在不同因素条件下表现不同, 氮处理对SPAD (Soil and plant analyzer development, SPAD)值和净光合速率的影响极显著; 钾处理对SPAD值和气孔导度的影响显著; 密度处理仅对SPAD值影响显著。综合来看, SPAD值在施氮量为10 kg/667m²、施钾量为7.5 kg/667m²、密度为4 200株/667m²时最大; 净光合速率在施氮量为15 kg/667m²、施钾量为7.5 kg/667m²、密度为5 000株/667m²时最大; 气孔导度在施氮量为15 kg/667m²、施钾量为12.5 kg/667m²、密度为3 400株/667m²时最大。三个因素条件中, 钾素对产量影响显著, 且在施氮量5 kg/667m²、施钾量12.5 kg/667m²、种植密度为4 200株/667m²时产量最高, 为3 150 kg/667m²; 在施氮量15 kg/667m²、施钾量7.5 kg/667m²、种植密度为5 000株/667m²时商品薯率最大, 为71.29%。

关键词: 马铃薯; 氮肥; 钾肥; 密度; 光合; 产量

Effects of Density, Nitrogen and Potassium Fertilizer Application on Photosynthetic Characteristics and Yield of 'Dongnong 311'

LIANG Xiaoli, WEI Qiaorong, SHI Ying*

(College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: The late maturing table potato variety 'Dongnong 311' was used as the experimental material, and the photosynthetic and yielding characters of different densities, nitrogen and potassium fertilizer applications were studied, which will provide the theoretical basis for high yield and high quality cultivation of this variety. Photosynthetic characteristics were different under different factors, and the effects of nitrogen treatment on Soil and Plant Analyzer Development (SPAD) value and net photosynthetic rate were highly significant; the effects of potassium treatment on SPAD value and stomatal conductance were significant; the density treatment only had significant effect on SPAD value. On the whole, the SPAD value was maximal when the amount of nitrogen was 10 kg/667m², potassium applied was 7.5 kg/667m², and the density was 4 200 strain/667m²; the net photosynthetic rate was maximal when the amount of nitrogen was 15 kg/667m², potassium applied was 7.5 kg/667m², and density was 5 000 hill/667m²; the stomatal conductance was the largest when the amount of nitrogen was 15 kg/667m², potassium applied was 12.5 kg/667m², and density was 3 400 hill/667m². In the three factors, potassium had significant effects on yield, and the yield was the highest when the nitrogen amount was 5 kg/667m², potassium was 12.5 kg/667m², and planting density was 4 200 hill/667m², at which the yield was 3 150 kg/667m²; the marketable tuber percentage was the largest when the nitrogen amount was 15 kg/667m², potassium was 7.5 kg/667m², and planting density was 5 000 hill/667m², which was 71.29%.

Key Words: potato; nitrogen fertilizer; potassium fertilizer; density; photosynthesis; yield

收稿日期: 2017-09-30

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-10)。

作者简介: 梁晓丽(1992-), 女, 硕士研究生, 从事马铃薯栽培研究。

*通信作者(Corresponding author): 石瑛, 副研究员, 从事马铃薯栽培和育种研究工作, E-mail: yshi@neau.edu.cn。

马铃薯是世界上广泛栽培的第四大粮食作物^[1], 具有产量高、生育期短、适应性强、分布范围广、营养全面、经济价值高等特点, 既可作为粮、菜、饲兼用的作物, 又可作为工业原料而广泛地应用于食品工业、淀粉工业、饲料工业和医药工业等^[2]。马铃薯已被联合国粮农组织(FAO)视为21世纪保证粮食安全的作物, 随世界人口的增加其重要性日益突出^[3]。

氮素是植物重要的营养三要素之一, 在马铃薯生长发育过程中发挥着至关重要的作用。缺氮会导致植株矮小、生长缓慢、叶色淡绿, 叶片又小又薄, 分枝数少, 开花早, 抗逆性差, 早疫病发病重, 产量低, 干物质含量也低于正常植株; 氮过剩会使植株徒长, 叶与叶之间相互遮盖, 影响光合效率, 抗倒伏能力差, 延迟结薯且结薯数下降, 块茎干物质和淀粉含量下降, 块茎表皮老化, 块茎畸形、空心, 易受病菌侵害, 不易贮藏^[4]。为植株提供合理的氮素营养, 可以提高叶绿素含量, 增大叶面积指数及干物质积累量。钾是作物生长发育所必须的大量元素, 在马铃薯生产中广泛且普遍使用。作物获得高产的前提是充足的钾素供给。钾素既能促进呼吸作用、核酸以及蛋白质的形成, 也能帮助叶片中的碳水化合物向块茎运输, 有利于作物植株强壮, 增加植株抗病能力和抗逆性, 推迟叶片老化, 还能明显提高马铃薯的气孔导度、蒸腾速率和光合速率, 加快养分运转速率, 增产效应较强。种植密度对建立和优化马铃薯合理的群体结构有很大的影响, 与产量的关系密切相关。对马铃薯产量与品质具有影响的因素有马铃薯种薯大小、种植密度、播种期早晚、土壤疏松程度和培土措施等^[5-7]。影响马铃薯单位面积产量的最大因素取决于不同的种植密度。如何确定合适的种植密度, 发挥出植株个体与群体的互补作用, 是露天种植马铃薯获得优质高产的一项重要技术措施^[8]。决定马铃薯的生长发育和块茎产量的高低、形成优良品质的主要因素是植株个体与群体的光合作用, 是以增强马铃薯光合作用是提高马铃薯块茎产量与品质的基础^[9]。

黑龙江省是中国马铃薯种薯和淀粉加工原料薯生产的优势区域, 具有种植马铃薯的历史和习惯, 但是生产管理仍较为粗放, 迫切需要围绕生产上应用的优良品种配套适宜的栽培技术, 以提高马

铃薯的单产水平。本研究为明确马铃薯合理的群体密度和适宜的氮、钾素营养水平, 选用马铃薯鲜食品种‘东农311’, 采用正交试验的方法, 通过对马铃薯光合特性及产量进行分析, 以期建立合理的密度和氮、钾营养水平群体优化结构, 为黑龙江省哈尔滨地区提高肥料利用率及高产优质的马铃薯栽培技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于2015年在黑龙江省哈尔滨市东北农业大学向阳乡科研实习基地进行。供试材料为中晚熟鲜食品种‘东农311’。

试验采用三因素三水平正交试验设计, 三因素为A(氮), B(钾)和C(密度), 每个品种设置3个水平, A1 = 5 kg/667m²、A2 = 10 kg/667m²、A3 = 15 kg/667m²; B1 = 7.5 kg/667m²、B2 = 12.5 kg/667m²、B3 = 17.5 kg/667m²; C1 = 3 400 株/667m²、C2 = 4 200 株/667m²、C3 = 5 000 株/667m²。试验按L₉(3⁴)正交表设置9个处理, 处理的情况见表1。每个处理3次重复, 共27个小区, 每小区7行, 行长6 m, 行距0.8 m, 小区面积33.6 m²。2015年4月30日播种, 9月27日收获。

1.2 测定方法

在马铃薯盛花期使用CI-340 Photosynthesis System测量其光合作用参数。

收获时按单行测产, 然后折算成每667 m²产量。

1.3 数据处理与统计分析

用Excel 2003进行试验数据的处理和作图。用DPS 7.05数据处理系统进行正交试验的方差分析。

2 结果与分析

2.1 密度和氮钾肥对光合作用的影响

在马铃薯盛花期对‘东农311’的叶片光合指标进行测量, 光合指标由SPAD (Soil and plant analyzer development, SPAD)值、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO₂浓度5个指标代表。并对密度和氮钾肥处理下这5个指标数据进行方差分析, 见表2。由表2可知, 氮处理(A)下, ‘东农311’的SPAD值和净光合速率达差异极显著水平, 蒸腾速率、气

表1 试验处理
Table 1 Experimental treatments

处理 Treatment	施氮量(A)(kg/667m ²) Nitrogen	施钾量(B)(kg/667m ²) Potassium	种植密度(C)(株/667m ²) Density (Hill/667m ²)	第4列 4 th column
1	A1	B1	C1	1
2	A1	B2	C2	2
3	A1	B3	C3	3
4	A2	B1	C2	3
5	A2	B2	C3	1
6	A2	B3	C1	2
7	A3	B1	C3	2
8	A3	B2	C1	3
9	A3	B3	C2	1

表2 密度和氮钾肥处理下植株各光合特性的方差分析
Table 2 Analysis of variance of photosynthetic characteristics of plants under treatments of density, nitrogen and potassium fertilizer

处理 Treatment	F值 F value				
	SPAD值 SPAD value	净光合速率 Net photosynthetic rate	蒸腾速率 Transpiration rate	气孔导度 Stomatal conductance	胞间CO ₂ 浓度 Intercellular CO ₂ concentration
A	8.69**	8.20**	0.14	0.86	0.07
B	4.24*	2.79	3.07	4.24*	0.49
C	4.59*	0.27	2.83	2.21	0.25

注: 表中*和**分别表示0.05和0.01显著水平。
Note: * and ** indicate significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

孔导度和胞间CO₂浓度均差异不显著。钾处理(B)下, SPAD值和气孔导度达到差异水平, 净光合速率、蒸腾速率和胞间CO₂浓度均差异不显著。密度处理(C)下, SPAD值差异达显著水平, 净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO₂浓度均差异不显著。

对在氮素处理下的SPAD值、净光合速率和气

孔导度进行多重比较, 见表3。在A2处理下的SPAD值、净光合速率和气孔导度达到最大值。氮素是叶绿素的重要组成部分之一, 氮素含量越高, 马铃薯的SPAD值越大。叶绿素相对含量高时, 会促进植株的光合作用, 有利于光合产物的产生与积累, 为马铃薯的高产优质提供了良好的基础。

表3 氮素处理下的SPAD值、净光合速率和气孔导度
Table 3 SPAD value, net photosynthetic rate and stomatal conductance under nitrogen treatments

处理 Treatment	SPAD值 SPAD value	净光合速率 Net photosynthetic rate	气孔导度 Stomatal conductance
A1	50.17 bB	13.79 bB	2.50 bA
A2	54.10 aA	18.16 aA	3.02 aA
A3	53.75 aA	16.08 aAB	2.68 abA

注: 表中小写字母和大写字母分别表示0.05和0.01显著水平。下同。
Note: Lowercase and uppercase letters indicate significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

对在钾素和密度处理下的SPAD值进行多重比较, 见表4。在钾素处理下, 在B2处理下的SPAD值达到最大。在密度处理下, SPAD值在C2处理下的SPAD值达到最大。密度决定植株个体与群体之间的关系, 在适宜的密度下, 会增强光合效率, 提高产量, 密度过大或者过小都会减弱光合效率, 造成减产。

在密度和氮钾肥处理下, 对SPAD值、净光合速率和气孔导度进行多重比较, 见表5。‘东农311’的SPAD值在A2B1C2处理下的SPAD值达到最大。在A3B1C3处理下的净光合速率达到最大值, 但与其他处理间差异不显著。气孔导度在A3B2C1处理下的气孔导度达到最大值。

表4 钾素和密度处理下的SPAD值

Table 4 SPAD value under potassium and density treatments

因素 Factor	处理 Treatment	SPAD值 SPAD value
钾素 Potassium	B1	53.40 aA
	B2	53.69 aA
	B3	50.92 bA
密度 Density	C1	53.14 aAB
	C2	53.96 aA
	C3	50.91 bB

表5 密度和氮钾肥处理下的SPAD值、净光合速率和气孔导度

Table 5 SPAD value, net photosynthetic rate and stomatal conductance in treatment of density and nitrogen and potassium fertilizer

处理 Treatment	SPAD值 SPAD value	净光合速率 Net photosynthetic rate	气孔导度 Stomatal conductance
A1B1C1	51.44 aA	14.28 aA	198.78 abcAB
A1B2C2	53.58 aA	14.90 aA	213.15 abAB
A1B3C3	45.48 bB	12.97 aA	201.25 abcAB
A2B1C2	54.95 aA	13.00 aA	148.95 cB
A2B2C3	53.41 aA	15.05 aA	209.87 abAB
A2B3C1	53.93 aA	16.71 aA	190.29 abcAB
A3B1C3	53.83 aA	17.85 aA	177.38 abcAB
A3B2C1	54.07 aA	16.52 aA	237.16 aA
A3B3C2	53.37 aA	16.14 aA	162.55 bcAB

2.2 密度和氮钾肥对产量性状的影响

收获时按行测产, 最终折算成每667 m²产量, 还分别测量了各处理的商品薯率, 对‘东农311’的产量和商品薯率进行方差分析, 见表6。由表6可知, 在氮素处理下, 产量和商品薯率均差异不显著。钾素处理下, 产量差异达到显著水平, 商品薯率差异不显著。在密度处理下, ‘东农311’的产量和商品薯率差异均不显著。

将钾处理下的产量数据进行多重比较, 见表7。在不同钾处理下, ‘东农311’的产量在B2处理下的产量达到最大值。适宜的施钾量可以提高‘东农311’的产量, 施钾肥过多则会导致产量下降。

对收获后密度和氮钾肥处理下的产量与商品薯率进行多重比较, 见表8。在A1B2C2处理下产量达到最大值, 在A3B1C3处理下商品薯率达到最大值。

表6 密度和氮钾肥处理下产量指标的方差分析

Table 6 Analysis of variance of yield index under density and nitrogen and potassium treatments

处理 Treatment	F值 F value	
	产量 Yield	商品薯率 Marketable tuber percentage
A	1.69	2.97
B	3.62*	0.43
C	0.78	0.75

注: *表示0.05显著水平。

Note: * indicates significance at 0.05 level.

表7 钾处理下的产量

Table 7 Yield of potato under potassium treatment

处理 Treatment	产量(kg/667m ²) Yield
B1	2 743 abA
B2	2 955 aA
B3	2 598 bA

表8 密度和氮钾肥处理下的产量性状

Table 8 Yield under density, nitrogen and potassium treatments

处理 Treatment	产量(kg/667m ²) Yield	商品薯率(%) Marketable tuber percentage
A1B1C1	2 788 abcA	56.26 abA
A1B2C2	3 150 aA	53.16 bA
A1B3C3	2 662 bcA	57.78 abA
A2B1C2	2 784 abcA	58.72 abA
A2B2C3	3 052 abA	60.07 abA
A2B3C1	2 566 cA	54.11 bA
A3B1C3	2 658 bcA	71.29 aA
A3B2C1	2 663 bcA	65.53 abA
A3B3C2	2 566 cA	61.75 abA

3 讨论

光合特性在不同因素条件下表现不同。本试验中, 氮素处理下的SPAD值和净光合速率差异极显

著, 施氮量越高SPAD值越大, 其原因是氮肥可促进叶绿素的合成, 且氮素是叶绿素的主要组成成分^[10], 过低或过高的氮肥施用量均可抑制马铃薯叶片光合速率, 这与田丰等^[11]研究结果一致。密度和

钾处理下的SPAD值差异显著,呈先升高后降低的趋势。研究表明钾素能明显提高马铃薯的气孔导度、蒸腾速率和光合速率,加快养分运转速率,进而提高马铃薯产量,同时钾也是糖代谢反应中的重要元素,缺乏时影响糖类的转变和运输,间接影响光合作用^[12],但是过量施用钾肥也会导致光合作用的降低,因此,适量施用钾肥是马铃薯增产的重要条件。‘东农311’的气孔导度差异显著,呈先升高后降低的趋势,这是由于增施氮肥可显著提高植株的光合作用的关系。

钾是作物生长发育所必须的大量元素,钾素既能促进呼吸作用、核酸以及蛋白质的形成,又参与植物水分代谢,是重要的渗透物质^[13]。植物体内碳水化合物的合成和运输也有钾素的参与^[14]。本试验中钾素对产量影响显著,对商品薯率影响不显著,其主要表现在单株结薯个数与大中薯率的增加。钾参与了作物的光合作用,能促进光合产物的产生,并在协同氮代谢作用中起到显著的影响^[15],所以适当增施钾肥能显著提高产量。随着施钾量的增多产量呈现先升高后降低的趋势,这与陈功楷等^[16]以及郭志平^[2]的研究一致。氮素和密度处理对产量和商品薯率影响不显著,这可能与品种间基因型差异性有关。‘东农311’的产量在施氮量为5 kg/667m²、施钾量为12.5 kg/667m²、种植密度为4 200株/667m²时最高,商品薯率在施氮量为15 kg/667m²、施钾量为7.5 kg/667m²、种植密度为5 000株/667m²时最大。

[参 考 文 献]

- [1] 齐驰恒. 氮肥用量对马铃薯干物质积累及氮素运转的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [2] 郭志平. 施用磷钾肥对马铃薯产量品质和相关生理指标的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [3] 徐娟娟. 马铃薯—粮食安全战略中的重要角色[J]. 农业工程技术: 农产品加工业, 2008(10): 36-40.
- [4] Allson M F, Fowler J H, Allin E J. Responses of potato (*Solanum tuberosum*) to potassium fertilizers [J]. Journal of Agricultural Science, 2001, 136: 407-426.
- [5] 申茂礼. 施用钾肥对马铃薯生理指标和产量品质的影响[D]. 西宁: 青海大学, 2013.
- [6] 黄有胜. 不同畦面宽度对免耕栽培马铃薯产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(3): 99, 125.
- [7] 郭志敏, 孙周平, 刘义玲. 根际通气性对大田马铃薯产量和品质的影响[J]. 作物杂志, 2008(3): 59-61.
- [8] 闫志山. 哈尔滨近郊早熟马铃薯高效种植技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006.
- [9] 田再民, 龚学臣, 祁利潘, 等. 不同种植密度对冀张薯8号光合特性的影响[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(13): 2995-2998.
- [10] 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.
- [11] 田丰, 张永成, 张凤军, 等. 不同肥料和密度对马铃薯光合特性和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(6): 95-98.
- [12] 王成, 王劲松, 丁玉川, 等. 不同高粱基因型对氮磷钾缺乏的生物学响应[J]. 山西农业科学, 2015, 43(9): 1133-1137.
- [13] 张西露, 汤小明, 刘明月, 等. NPK对马铃薯生长发育、产量和品质的影响及营养动态[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(18): 9466-9469.
- [14] 陈宪军. 钾肥的作用[J]. 吉林农业, 2007(8): 33.
- [15] 孙赛. 钾营养对中华猕猴桃生理特性及果品质量影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.
- [16] 陈功楷, 权伟, 朱建军. 不同钾肥量与密度对马铃薯产量及商品率的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(6): 166-169.