

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2018)06-0345-06

栽培生理

密度及密度调控方式对马铃薯农艺性状及产量的影响

孙磊^{1*}, 田静媛¹, 于洪涛², 李功轶³, 邵枫¹, 张亮¹, 邢阳洋¹

(1. 东北农业大学资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院绥化分院, 黑龙江 绥化 152000;
3. 大兴安岭地区农林科学院, 黑龙江 加格达奇 165000)

摘要: 2014和2015年分别以‘尤金’和‘克新13号’原种为供试材料, ‘尤金’设置6、9和12穴/m²播种密度及1或3个主茎/穴, ‘克新13号’设置6、8和10穴/m²播种密度及1或2个主茎/穴处理, 研究密度及密度调控方式对马铃薯农艺性状及产量的影响。每穴主茎数相同时, 播种密度由6穴/m²增加到10穴/m²(‘克新13号’)或12穴/m²(‘尤金’)时: 叶面积指数(Leaf area index, LAI)显著增加, 比叶重(Specific leaf area, SLA)显著降低($P < 0.05$); 单位面积播种穴数的增加仅显著增加了‘克新13号’单主茎处理的总产量和商品薯产量($P < 0.05$)。播种穴数相同时, ‘克新13号’随着每穴主茎数由1个增加到2个, 6和8穴/m²处理的株高显著增加, 8穴/m²的SLA显著降低($P < 0.05$); 不同播种密度下总产量和商品薯产量均随每穴主茎数的增加而显著增加($P < 0.05$); ‘尤金’随着每穴主茎数由1个增加到3个时, 各处理株高均显著增加, 茎粗显著降低($P < 0.05$); 且6穴/m²处理和12穴/m²处理LAI显著增加, SLA显著降低($P < 0.05$), 9和12穴/m²的总产量及12穴/m²的商品薯产量随每穴主茎数的增加而显著增加($P < 0.05$)。在试验条件下, 6~8穴/m², 2主茎/穴适于‘克新13号’获得较高的块茎产量和商品薯产量, 6穴/m², 3主茎/穴适于‘尤金’获得较高的块茎产量和商品薯产量。

关键词: 马铃薯; 播种密度; 主茎数; 农艺性状; 块茎产量

Effects of Density and Density Control Methods on Agronomic Character and Yield of Potato

SUN Lei^{1*}, TIAN Jingxuan¹, YU Hongtao², LI Gongyi³, TAI Feng¹, ZHANG Liang¹, XING Yangyang¹

(1. College of Resources and Environmental Science, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China;
2. Suihua Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Science, Suihua, Heilongjiang 152000, China;
3. Daxinganling Academy of Agriculture and Forestry, Jiagedaqi, Heilongjiang 165000, China)

Abstract: 'Youjin' and 'Kexin 13' were used to study the effects of density and density control method on agronomy characters and yield of potato tuber in 2014 and 2015. The planting densities were 6 hills/m², 9 hills/m² and 12 hills/m² with 1 or 3 stems/hill for the variety of 'Youjin', and 6 hills/m², 8 hills/m² and 10 hills/m² with 1 or 2 stems/hill for 'Kexin 13'. When planting density increased from 6 hills/m² to 10 hills/m² ('Kexin 13') or 12 hills/m² ('Youjin') with the same main stem number per hill, the increase in leaf area index (LAI) and decrease in specific leaf area (SLA) were significantly ($P < 0.05$). The total tuber yield and marketable tuber yield increased significantly for 'Kexin 13' with 1 stem number only. As to the treatments with the same planting density, with the increase in main stem number per hill from 1 to 2 for 'Kexin 13', the plant height increased significantly for the treatments with 6 hills/m² and 8 hills/m² ($P < 0.05$), while SLA decreased significantly for the

收稿日期: 2017-06-12

基金项目: 黑龙江省教育厅面上项目(12541034)。

作者简介: 孙磊(1974-), 女, 副教授, 主要从事作物养分管理。

*通信作者(Corresponding author): 孙磊, E-mail: sunleilee@163.com。

treatment with 8 hills/m² ($P < 0.05$). The total tuber yield and marketable tuber yield increased significantly with increase in the stem number per hill at the three planting densities ($P < 0.05$). For 'Youjin', with increase in the main stem number per hill from 1 to 3, the plant height increased and stem diameter decreased significantly for the three planting densities ($P < 0.05$), while LAI increased and SLA decreased significantly for the treatments with 6 hills/m² and 12 hills/m² ($P < 0.05$). The total tuber yield at the plant density of 9 hills/m² and 12 hills/m² as well as the marketable tuber yield at the plant density of 12 hills/m² increased significantly with increase in the stem number per hill ($P < 0.05$). It was found that in the conditions of this experiment, 6-8 hills/m² and 2 stems/hill were suitable for 'Kexin 13', while 6 hills/m² and 3 stems/hill were suitable for 'Youjin' to get a relatively higher total tuber yield and marketable tuber yield.

Key Words: potato; planting density; stem number; agronomy trait; tuber yield

马铃薯作为粮饲兼用作物, 需求量不断增加, 已成为中国最具发展前景的农作物之一, 种植面积逐年上升^[1]。密度调控对马铃薯农艺性状影响较大, 马铃薯的茎粗、株高和叶面积都会因种植密度的改变而增大或减小^[2-4]。马铃薯的茎粗、株高、叶面积等农艺性状都与块茎的生长发育有显著的相关性^[5-7]。茎粗过小植株易倒伏, 对其生长发育不利, 而茎秆粗壮有利于物质的运输和分配, 可促进产量的形成^[8]。叶片是植物进行光合作用的最主要器官, 叶面积增大和光合特性增强, 生物学产量明显增加^[9]。研究表明随着叶面积指数的增加, 产量表现为单峰曲线变化, 叶面积在最适值时, 产量达到最大值, 随后产量开始下降^[10]。

通常情况下作物的种植密度为单位面积上的播种穴数, 但马铃薯在同一播种穴中可能会长出一个以上的主茎, 因此也可根据单位面积上的主茎数定义马铃薯的密度^[11]。已有的关于密度的研究多是播种穴数的调整对马铃薯农艺性状及单株产量的影响, 鲜有对比播种穴数和调整主茎数对马铃薯农艺性状及产量构成的影响^[12]。减少播种穴数、增加主茎数可在保证单位面积主茎数的前提下改善马铃薯田间的通风状况。因此, 确定马铃薯生产合理的密度调控方式可为马铃薯生产提供有益的参考。

本试验通过设置不同的播种穴数、控制每穴主茎数进行不同方式的密度调控措施, 通过分析不同密度调控方式下植株的农艺性状和产量构成变化, 为马铃薯生产提供适宜的密度调控方式参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验分别于2014和2015年在黑龙江省农业科学院绥化分院试验田进行, 土壤类型为黑土, 土壤基础肥力结果见表1。

1.2 试验材料

供试马铃薯品种为‘尤金’(早熟品种)和‘克新13号’(中晚熟品种)原种, 由黑龙江省农业科学院绥化分院提供, 种薯采用切块播种, 各处理所用种薯大小均采用同一标准, 在苗期通过间苗进行主茎数的控制。供试肥料为尿素(N 46%), 二铵(N 18%, P₂O₅ 46%), 硫酸钾(K₂O 50%)。

1.3 试验设计

试验设6个处理, 3次重复, 采用随机区组排列。每个小区6垄, 垄长21 m, 垄宽67 cm, 小区面积84 m², 各重复之间留1 m过道, 各小区的2个边垄和各垄两端1 m不取样, 中间4垄每垄留4 m测产, 其余15 m分别在不同生育期取样。磷肥作

表1 土壤基础肥力
Table 1 Basic soil fertility

年 Year	有机质(g/kg) Organic matter	碱解氮(mg/kg) Available N	速效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K	pH
2014	36.3	99.80	47.8	211.5	5.86
2015	44.7	77.94	34.2	190.6	6.45

为基肥一次性施入, 50% 氮、钾肥在播种时施入, 余下的 50% 在块茎膨大初期侧开沟追施, 施肥后覆土(表 2)。其他田间管理同大田。

2014 年 5 月 1 日播种, 5 月 27 日出苗, 8 月 13 日收获。2015 年 4 月 26 日播种, 6 月 2 日出苗, 9 月 8 日收获。具体试验设计见表 2。

表 2 试验各处理的养分施用量及密度

Table 2 Nutrient application rate and densities of different treatments

品种 Variety	处理 Treatment	施肥量(kg/hm ²) Application rate (kg/ha)			主茎数(个/穴) Stem number (number/hill)	播种穴数(穴/m ²) Planting hill (hill/m ²)	穴距(cm) Hill space
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
尤金 Youjin	6-1	150	75	150	1	6	24.9
	6-3	150	75	150	3	6	24.9
	9-1	150	75	150	1	9	16.6
	9-3	150	75	150	3	9	16.6
	12-1	150	75	150	1	12	12.4
	12-3	150	75	150	3	12	12.4
克新 13 号 Kexin 13	6-1	150	100	150	1	6	24.9
	6-2	150	100	150	2	6	24.9
	8-1	150	100	150	1	8	18.7
	8-2	150	100	150	2	8	18.7
	10-1	150	100	150	1	10	14.9
	10-2	150	100	150	2	10	14.9

1.4 取样及测定方法

分别在块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期和收获期进行田间取样。每个小区选取田间长势一致、具有代表性的 3 株完整植株, 用直尺测量茎基部至主茎生长点的长度为株高, 用游标卡尺测量茎基部, 并每 90 度测量一个数值, 取 4 个数值的平均数为茎粗。将植株叶片洗净擦干后, 用 LI-3100 叶面积仪测定叶面积, 然后 105 ℃ 杀青, 75 ℃ 烘至恒重, 称烘干重。

收获期每小区取 10.7 m² 进行测产, 称量全部块茎重和商品薯(≥ 75 g)重。

叶面积指数(Leaf area index, LAI) = 植株绿叶面积(m²)/对应覆盖土地面积(m²)

比叶重(Specific leaf area, SLA)(g/cm²) = 叶的干重(g)/叶面积(cm²)

数据采用 Excel 2013 和 DPS 7.65 软件分析和作图。

2 结果与分析

2.1 密度及密度调控方式对马铃薯株高和茎粗的影响

由表 3 可见, 每穴主茎数相同时, ‘克新 13 号’

随着播种穴数由 6 穴/m² 增加到 10 穴/m², 株高增加 1.2~4.5 cm, 茎粗减小 0.1~0.4 mm, 但差异未达显著水平; ‘尤金’随着播种穴数由 6 穴/m² 增加到 12 穴/m², 株高增加 0.5~4.8 cm, 茎粗减小 0.2~1.5 mm, 但仅在 3 主茎/穴条件下, 12 穴/m² 的株高显著高于 6 和 9 穴/m² ($P < 0.05$)。播种穴数相同时, ‘克新 13 号’随着每穴主茎数由 1 个增加到 2 个, 株高增加 2.5~5.1 cm, 茎粗减小 1.2~1.3 mm, 6 和 8 穴/m² 的条件下, 株高差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。‘尤金’随着每穴主茎数由 1 个增加到 3 个, 株高增加 5.0~7.9 cm, 茎粗减小 2.4~3.3 mm, 不同播种密度条件下, 株高和茎粗的差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。对数据进行相关性分析发现, 单位面积主茎数的增加与马铃薯株高的增加和茎粗的降低呈线性相关, 相关系数分别为 0.97 和 -0.97(‘尤金’)及 0.92 和 -0.94(‘克新 13 号’), 均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

2.2 密度及密度调控方式对叶面积指数和比叶重的影响

如表 4 所示, 主茎数相同时, ‘克新 13 号’随着播种穴数由 6 穴/m² 增加到 10 穴/m², 单主茎的

表3 密度及密度调控方式对马铃薯株高和茎粗的影响

Table 3 Effects of densities and density control methods on plant height and stem diameter

品种 Variety	处理 Treatment	株高(cm) Plant height	茎粗(mm) Stem diameter
尤金 Youjin	6-1	54.4 c	12.5 a
	6-3	60.8 b	10.1 b
	9-1	56.3 c	12.3 a
	9-3	61.3 b	9.0 b
	12-1	57.7 bc	11.8 a
	12-3	65.6 a	8.6 b
克新13号 Kexin 13	6-1	43.3 b	12.8 a
	6-2	48.4 a	11.6 a
	8-1	45.3 b	12.7 a
	8-2	49.6 a	11.4 a
	10-1	47.8 ab	12.4 a
	10-2	50.3 a	11.2 a

注: 株高和茎粗均在盛花期测量。不同字母代表0.05水平差异显著性, 新复极差法。下同。

Note: Plant height and stem diameter are measured at full-bloom stage. Means followed by different letter(s) in the same column for each variety indicates significant difference at 0.05 level of probability according to SSR method. The same below.

LAI显著增加($P < 0.05$), 由8穴/m²增加到10穴/m²时, SLA显著降低; 而2主茎/穴时, 由6穴/m²增加到8穴/m², SLA显著降低($P < 0.05$), 由8穴/m²增加到10穴/m²时LAI显著增加($P < 0.05$)。‘尤金’在单主茎时, 12穴/m²的LAI显著高于6穴/m², 而SLA显著低于6穴/m²($P < 0.05$); 3主茎/穴时, 由9穴/m²增加到12穴/m², LAI增加和SLA减小均达显著水平($P < 0.05$)。播种穴数相同时, ‘克新13号’随着每穴主茎数的增加显著降低外, 其他播种密度下LAI增加和SLA降低均未达显著水平。‘尤金’在6和12穴/m²条件下, 随着每穴主茎数由1个增加到3个, LAI显著增加, SLA显著降低($P < 0.05$)。由此可见, 随着单位面积主茎数的增加, 植株LAI增加, SLA减小, 其中‘尤金’受每穴主茎数的影响较大, 而‘克新13号’受单位面积播种穴数的影响较大。

2.3 密度及密度调控方式对马铃薯块茎产量的影响

由表5可知, 2品种平均每主茎产量均随单位面积播种穴数的增加而缓慢降低, 随每穴主茎数的增加而显著降低($P < 0.05$); 每穴主茎数相同时, 单穴产量虽然随播种穴数增加而减少, 但是除了

‘克新13号’6-2和10-2, 8-2和10-2外, 其他处理间差异均不显著; 播种穴数相同时, 单穴产量则随每穴主茎数的增加而增加, 但仅‘克新13号’在6~8穴/m²时达到差异显著水平($P < 0.05$)。每穴主茎数相同时, ‘尤金’的播种穴数由6穴/m²增加到12穴/m², 总产量增幅在2.8%~6.5%, 商品薯产量则降低0%~3.3%, 单位面积播种穴数的增加并没有显著提高或降低‘尤金’的块茎总产量和商品薯产量; ‘克新13号’播种穴数由6穴/m²增加到10穴/m², 单主茎处理的总产量增幅可达26.7%~28.1%, 商品薯增产33.0%~36.5%, 8和10穴/m²处理的总产量和商品薯产量显著高于6穴/m²处理($P < 0.05$); 2主茎/穴处理的总产量增幅不明显, 仅为2.9%~5.0%, 商品薯产量没有增加或略降低。播种穴数相同时, ‘尤金’每穴主茎数由1个增加到3个, 总产增幅为7.4%~9.0%, 商品薯增产3.9%~6.7%, 其中9和12穴/m²处理总产量显著增加($P < 0.05$), 但仅12穴/m²处理的商品薯产量显著增加($P < 0.05$)。当‘克新13号’每穴主茎数由1个增加到2个时, 总产量增产17.5%~46.2%, 商品薯增产17.1%~59.3%, 不同播种密度下的块茎总产量和商品薯产量均显著增加($P < 0.05$)。

表4 密度及密度调控方式对叶面积指数和比叶重(干重)的影响

Table 4 Effects of densities and density control methods on leaf area index and specific leaf area (dry weight basis)

品种 Variety	处理 Treatment	叶面积指数 Leaf area index	比叶重(g/m ²) Specific leaf area
尤金 Youjin	6-1	2.45 c	45.4 a
	6-3	4.30 b	41.0 b
	9-1	3.92 bc	43.3 ab
	9-3	4.72 b	40.2 b
	12-1	4.36 b	41.5 b
	12-3	5.76 a	38.0 c
克新13号 Kexin 13	6-1	2.22 c	49.6 a
	6-2	2.99 bc	48.1 a
	8-1	3.35 b	47.7 a
	8-2	3.79 b	43.8 b
	10-1	4.17 a	44.1 b
	10-2	4.42 a	41.2 b

表5 密度及密度调控方式对马铃薯产量的影响

Table 5 Effects of densities and density control methods on potato yield

品种 Variety	处理 Treatment	平均每主茎产量(kg/茎) Yield per main stem (kg/stem)	单穴产量(kg/穴) Yield per hill (kg/hill)	产量(t/hm ²) Yield (t/ha)		商品薯率(%) Marketable tuber percentage
				总产 Total	商品薯 Marketable tuber	
尤金 Youjin	6-1	1.09 a	1.09 ab	32.2 b	30.4 ab	94 a
	6-3	0.43 c	1.29 a	35.1 ab	31.6 a	90 b
	9-1	0.90 b	0.90 b	33.6 b	29.4 b	88 b
	9-3	0.36 c	1.09 ab	36.1 a	30.7 ab	85 b
	12-1	0.86 b	0.86 b	34.3 b	29.7 b	87 b
	12-3	0.35 c	1.06 ab	37.4 a	31.7 a	85 b
克新13号 Kexin 13	6-1	0.90 a	0.90 b	33.1 c	28.5 c	86 c
	6-2	0.57 b	1.14 a	48.4 a	45.4 a	94 a
	8-1	0.83 a	0.83 b	41.9 b	38.9 b	93 a
	8-2	0.53 b	1.05 a	50.8 a	45.6 a	90 b
	10-1	0.75 a	0.75 b	42.4 b	37.9 b	89 b
	10-2	0.41 c	0.82 b	49.8 a	44.4 a	89 b

3 讨 论

株高和茎粗是衡量马铃薯生长状况的重要指标之一, 茎秆粗壮有利于物质的运输及产量的形成,

茎秆过细植株易倒伏; 马铃薯植株过大, 不仅浪费碳水化合物, 而且加重田间郁闭程度, 植株过小, 则光能利用率降低, 不利于产量的形成^[13]。李惠贤等^[3]对5个青薯系列马铃薯品种的研究表明, 在现

蕾期同一马铃薯品种的株高、茎粗、叶片数均与种植密度呈负相关。而本试验研究结果表明, 随单位面积主茎数的增加, 马铃薯株高呈线性增加, 茎粗呈线性减小。

叶片是植物进行光合作用最主要的器官, 作物干物质的生产和积累主要依靠叶片的光合作用来实现, 马铃薯的产量可通过改善马铃薯叶片的光合性能来实现, 因此提高植株的光合能力和光合面积是增加产量的主要途径。叶面积指数和比叶重是衡量叶片光合作用性能的重要参数^[14]。不同种植密度条件下, 叶面积指数发展动态大致相似, 且叶面积指数均随种植密度的增大而增大。本试验研究结果表明, 随着播种穴数和主茎数增加, 叶面积指数增加, 比叶重减小, 但并不是叶面积指数越大产量越高^[15]。

适当增加马铃薯的密度, 有利于充分合理的利用空间和土壤, 促进高产群体结构的形成, 进而提高块茎产量^[14,16]。宋金凤等^[17]通过研究发现‘大西洋’随马铃薯种植密度的增加, 产量不断增加, 但当种植密度到达一定程度时, 产量开始逐渐下降。本研究通过调整播种穴数和主茎数进行密度调控, 结果表明, 在本试验调控范围内, 单穴产量均随单位面积播种穴数的增加而降低, 随每穴主茎数的增加而增加。增加每穴主茎数在不同程度上提高了‘尤金’和‘克新13号’的块茎总产量和商品薯产量, 且对‘克新13号’的增产效果远高于‘尤金’。而增加单位面积播种穴数对‘尤金’的增产效果不明显, ‘克新13号’的总产量和商品薯产量也仅在播种穴数由6穴/m²增加到8穴/m²时的单主茎处理体现出增产效果。由此可见, 增加主茎数比增加单位面积播种穴数能更有效的提高马铃薯块茎总产量和商品薯产量, 且对‘克新13号’的调控效果要优于‘尤金’。

在本试验调控范围内, 6~8穴/m², 2主茎/穴适于‘克新13号’获得较高的块茎产量和商品薯产量, 6穴/m², 3主茎/穴适于‘尤金’获得较高的块茎产量和商品薯产量。

[参 考 文 献]

- [1] 段玉, 张君, 李焕春, 等. 马铃薯氮磷钾养分吸收规律及施肥肥效的研究 [J]. 土壤, 2014, 46(2): 212-217.
- [2] Akassa B, Belew D, Debela A. Yield and quality of potato seed tuber as influenced by inter and intra row spacing at Bako, western Ethiopia [J]. Journal of Biological Sciences, 2014, 14(6): 431-435.
- [3] 李惠贤, 刘永贤, 李文宝, 等. 五个青薯系列马铃薯品种不同种植密度对生长性状及产量的影响试验 [J]. 广西农业科学, 2010, 41(9): 910-913.
- [4] Mamun M A A, Al-Mahmud A, Zakaria M, *et al.* Effects of planting times and plant densities of top-shoot cuttings on multiplication of breeder seed potato [J]. Agriculture and Natural Resources, 2016, 50(1): 26-31.
- [5] 金光辉, 高幼华, 刘喜才, 等. 种植密度对马铃薯农艺性状及产量的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(7): 16-21.
- [6] 李勇, 吕典秋, 胡林双, 等. 不同氮磷钾配比对马铃薯农艺性状、产量和干物质含量的影响 [J]. 中国马铃薯, 2013, 27(3): 148-152.
- [7] 仲义, 梁焯赫, 高华援. 马铃薯主要农艺性状与单株产量的遗传相关及通径系数分析 [J]. 吉林农业科学, 2009, 34(2): 17-19.
- [8] Allen E J, Scott R K. An analysis of growth of the potato crop [J]. Journal of Agricultural Science, 1980, 94(3): 583-606.
- [9] 周娜娜, 秦亚斌. 马铃薯氮素营养诊断及追肥推荐模型的研究 [J]. 宁夏农业科技, 2004(2): 1-2.
- [10] 姜丽丽, 王梓全, 尤晗, 等. 施氮量对炸条型马铃薯产量及叶面积的影响 [J]. 中国马铃薯, 2014, 28(4): 212-216.
- [11] Iritani R W M, Weller L D, Knowles N R. Relationships between stem number, tuber set and yield of Russet Burbank potatoes [J]. American Potato Journal, 1983, 60: 423-431.
- [12] Bishop J C, Timm H. Comparative influence of Gibberellic acid and of plant population on distribution of potato tuber size [J]. American Potato Journal, 1968, 45: 182-187.
- [13] 陈光玉, 文云书, 刘辉, 等. 不同播种密度对脱毒马铃薯费乌瑞它产量的影响 [J]. 贵州农业科学, 2008, 36(6): 55-56.
- [14] 李俊, 钟英娜, 郭华春. 马铃薯叶面积与产量、品质关系研究 [J]. 中国马铃薯, 2013, 27(1): 34-37.
- [15] 郭阿安. 马铃薯紫花851不同种植密度对群体结构的影响试验 [J]. 广西农业科学, 2010, 41(8): 766-768.
- [16] 杨玲, 刘均霞. 马铃薯密度试验初探 [J]. 吉林农业: 学术版, 2010(8): 69.
- [17] 宋金凤, 张忠福, 张连瑞. 机械种植大西洋马铃薯密度试验 [J]. 农业科技与信息, 2012(13): 5-6.