

密度调控方式对马铃薯块茎大小调控功能初探^①

田静儂¹, 孙 磊^{1*}, 于洪涛², 毕诗婷¹, 张泽钰¹, 邰 枫¹

(1 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2 黑龙江省农业科学院绥化分院, 黑龙江绥化 152000)

摘要: 2014年和2015年分别以尤金和克新13号脱毒原种为供试材料,采用随机区组设计,分别设置6万穴/ hm^2 、9万穴/ hm^2 、12万穴/ hm^2 播种穴数和1、3个主茎/穴(2014年)以及6万穴/ hm^2 、8万穴/ hm^2 、10万穴/ hm^2 播种穴数和1、2个主茎/穴(2015年)等处理,研究密度调控方式对马铃薯块茎大小分布及产量的影响。两年试验结果表明:增加播种穴数或单穴主茎数都将增加30~150 g的块茎产量,降低150 g以上的块茎产量。早熟品种尤金的种薯生产采用12万穴/ hm^2 、3主茎/穴的播种方式,并于苗后60 d左右收获,可获得较高150 g以下块茎产量;商品薯生产采用6万穴/ hm^2 、3主茎/穴的播种方式可获得较高商品薯产量。中晚熟品种克新13号的种薯生产采用8万穴/ hm^2 、2主茎/穴的播种方式,苗后80 d左右收获,可获得较高150 g以下块茎产量;商品薯生产采用6万穴/ hm^2 、2主茎/穴的播种方式可获得较高商品薯产量。

关键词: 马铃薯; 播种穴数; 主茎数; 密度调控; 块茎大小

中图分类号: S532; S352.3 文献标识码: A

马铃薯作为粮饲兼用作物,营养丰富,产量高,在世界广泛种植,需求量不断增长^[1]。2015年,余欣荣^[2]在“马铃薯主粮化战略研讨会”上表示,马铃薯主粮化已成为必然趋势,并且要把马铃薯亩产量提高到2吨以上,为国家粮食安全提供更多保障。

马铃薯密度调控对其农艺性状影响较大,适宜的密度有利于马铃薯合理利用空间和田间土壤养分,促进植株的光合产物适时向块茎运输,利于高产群体结构的形成^[3~5]。不同用途的马铃薯对块茎大小的要求也不同,而密度是调控马铃薯块茎大小分布的有效方式之一^[6]。在一定种植密度范围内,单株产量和中小薯产量与种植密度呈正相关,但马铃薯群体产量和商品薯产量则与种植密度呈负相关;超过这个范围后,由于单株养分供应不足,单株产量过少而降低群体产量^[6~8]。

种植密度一般定义为单位面积上的种植株数,但马铃薯在相同播种密度下单位面积上的主茎数也会不同,因此也可根据单位面积上的主茎数定义马铃薯种植密度^[9]。已有的研究多是对播种穴数的调整,鲜有通过调整主茎数进行密度调控,而种薯大小、种薯质量、播种时期、激素水平等都会影响主茎数量^[10]。

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实践参考。

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,通过分析不同条件下植株的生长状况、块茎产量和不同大小块茎的分布,确定马铃薯适宜的密度调控方式,为马铃薯不同生产需求提供适宜的栽培模式参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于2014年和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,试验前土壤养分测定结果见表1。

1.2 供试品种

2014年供试品种为尤金(早熟品种)脱毒原种,种薯由黑龙江省农业科学院绥化分院提供,生育期65~70 d。2015年供试品种为克新13号(中晚熟品种)脱毒原种,种薯由黑龙江省农科院脱毒马铃薯研究所提供,生育期95~100 d。

基金项目: 黑龙江省教育厅面上项目(12541034)和“十二五”农村领域国家科技计划课题项目(2012BAD06B02)资助。

* 通讯作者(sunleilee@163.com)

作者简介: 田静儂(1992—),女,黑龙江桦南人,硕士研究生,主要研究方向为马铃薯的养分管理。E-mail: jingxuantian@126.com

表 1 土壤基础肥力

年份	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH
2014	36.3	99.8	47.8	211.5	5.86
2015	44.7	77.94	34.2	190.6	6.45

1.3 试验设计

试验设置 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, 各重复之间留有 1 m 过道, 各小区的两个边垄和各垄两端 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。磷肥作为基

肥一次性施用, 氮、钾肥 50% 在播种时施入, 追肥在块茎膨大初期侧开沟追施, 施肥后覆土; 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。试验设计见表 2。

表 2 试验各处理的养分施用量及密度

年份	处理	施肥量 (kg/hm ²)			播种穴数 (万穴/hm ²)	主茎数 (个/穴)	株距 (cm)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
2014	6-1	150	75	150	6	1	24.9
	6-3	150	75	150	6	3	24.9
	9-1	150	75	150	9	1	16.6
	9-3	150	75	150	9	3	16.6
	12-1	150	75	150	12	1	12.4
	12-3	150	75	150	12	3	12.4
2015	6-1	150	100	150	6	1	24.9
	6-2	150	100	150	6	2	24.9
	8-1	150	100	150	8	1	18.7
	8-2	150	100	150	8	2	18.7
	10-1	150	100	150	10	1	14.9
	10-2	150	100	150	10	2	14.9

注: 各处理编号第一个数字表示每公顷万穴数, 第二个数字表示每穴主茎数。

1.4 取样及测定方法

2014 年分别在苗后 22 d(块茎形成期)、39 d(块茎膨大期)、61 d(淀粉积累期)和 78 d(收获期)进行田间取样。2015 年分别在苗后 28 d(块茎形成初期)、45 d(块茎形成末期)、62 d(块茎膨大期)、83 d(淀粉积累期)和 98 d(收获期)进行田间取样。

每个小区选取田间长势一致、具有代表性的完整植株 3 株。将植株按叶片、叶柄、地上茎和块茎分开, 块茎分为<3 cm、3 cm~30 g、30~75 g、75~100 g、100~150 g、150~200 g、200~250 g、>250 g 的 8 个级别。洗净称鲜重, 105℃杀青 30 min, 75℃烘至恒重, 称烘干重。

试验数据采用 Excel 2013 和 DPS 7.65 软件分析和作图。

2 结果与分析

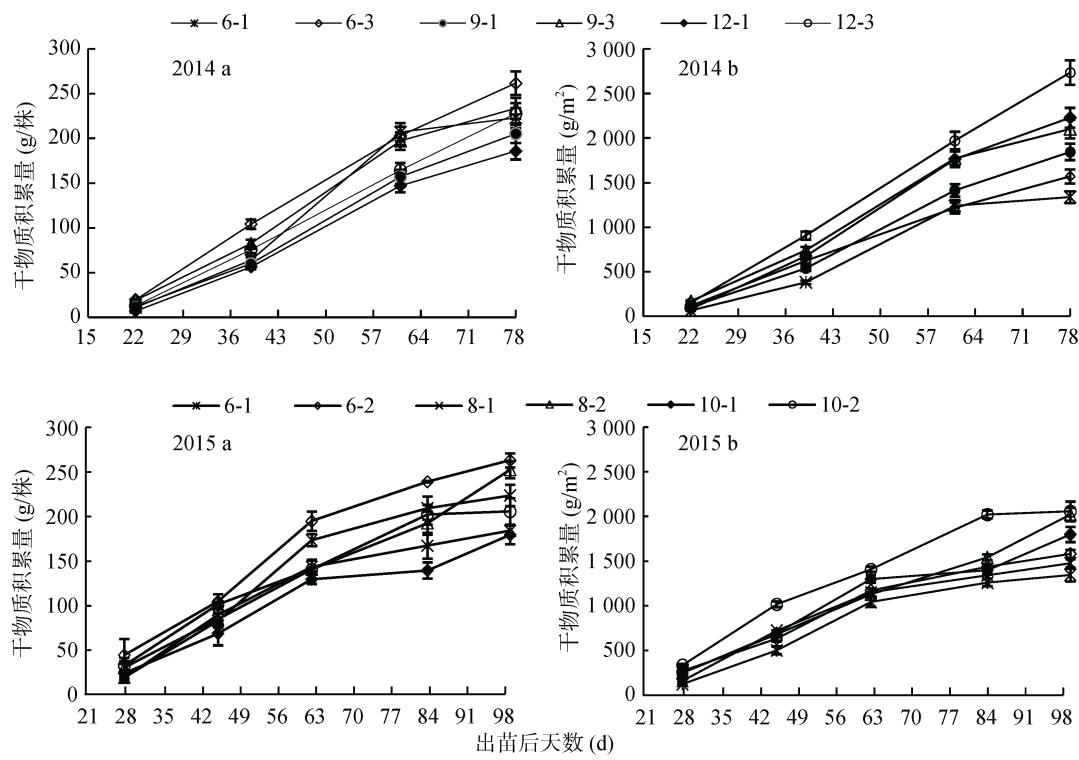
2.1 密度调控方式对马铃薯全株干物质积累量的影响

对比图 1 中 2014a 和 2014b、2015a 和 2015b 可

知, 播种穴数相同时, 马铃薯全株干物质积累量与单位面积干物质积累量均随主茎数增加而增加(多主茎>单主茎)。主茎数相同时, 播种穴数增加, 全株干物质积累量减少, 2014 年表现为 6 万穴/hm²>9 万穴/hm²>12 万穴/hm², 2015 年表现为 6 万穴/hm²>8 万穴/hm²>10 万穴/hm²; 但单位面积马铃薯全株干物质积累量增加, 2014 年表现为 12 万穴/hm²>9 万穴/hm²>6 万穴/hm², 2015 年表现为 10 万穴/hm²>8 万穴/hm²>6 万穴/hm²。

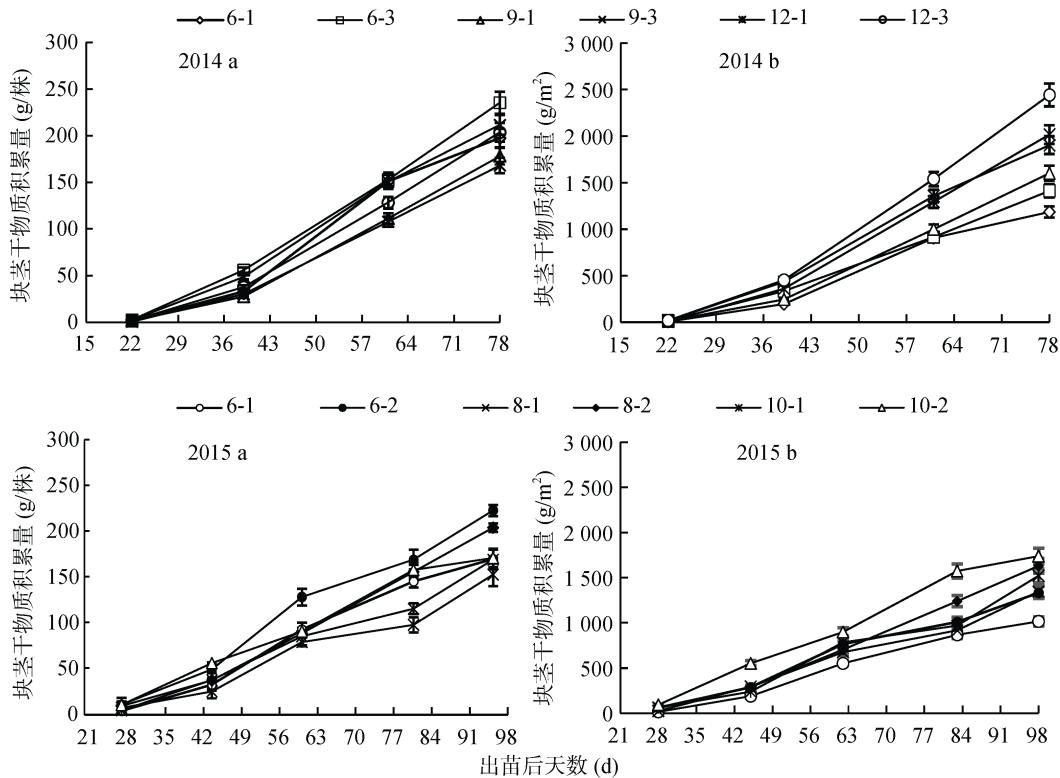
2.2 密度调控方式对马铃薯块茎干物质积累的影响

块茎干物质积累是产量形成的基础^[11]。对比图 2 中 2014a 和 2014b、2015a 和 2015b 发现, 播种穴数相同时, 多主茎处理的单株块茎干物质积累量与单位面积块茎干物质积累量均高于单主茎处理。主茎数相同时, 播种穴数增加, 单株块茎干物质积累量减小, 2014 年表现为 6 万穴/hm²>9 万穴/hm²>12 万穴/hm², 2015 年表现为 6 万穴/hm²>8 万穴/hm²>10 万穴/hm²; 但单位面积块茎干物质积累量增加, 2014 年表现为 12 万穴/hm²>9 万穴/hm²>6 万穴/hm², 2015 年表现为 10 万穴/hm²>8 万穴/hm²>6 万穴/hm²。



(a 为全株干物质积累量 ; b 为每平方米植株的干物质积累量)

图1 密度调控方式对马铃薯全株干物质积累量的影响



(a 为单株块茎干物质积累量 ; b 为每平方米块茎干物质积累量)

图2 密度调控方式对马铃薯块茎干物质积累的影响

产量 = 单株块茎重×单位面积播种穴数。随着播种穴数的增加，单株块茎干物质积累量降低，但

单位面积块茎干物质积累量由于单位面积植株数量增加，弥补了单株块茎干物质积累量降低造成的

损失，确保单位面积块茎干物质积累量不降低或者增加。

2.3 密度调控方式对马铃薯各级别块茎的影响

如图 3 所示，随着播种穴数和单穴主茎数增加， $30\sim75\text{ g}$ 、 $75\sim100\text{ g}$ 、 $100\sim150\text{ g}$ 和 $150\sim200\text{ g}$ 各级别块茎产量均增加。但是不同品种 200 g 以上的块

茎产量表现不同：尤金 $>200\text{ g}$ 的块茎产量随播种穴数和单穴主茎数的增加而减少。克新 13 号的 $>200\text{ g}$ 的块茎产量在主茎数相同时，随着播种穴数增加先增加后减少；播种穴数为 $6\text{ 万穴}/\text{hm}^2$ 时，多主茎处理大于单主茎处理；播种穴数为 $8\text{ 万穴}/\text{hm}^2$ 和 $10\text{ 万穴}/\text{hm}^2$ 时，单主茎处理大于多主茎处理。

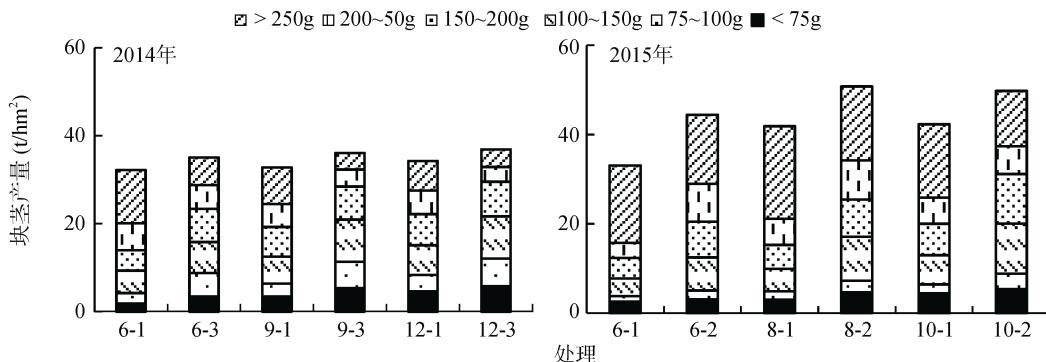


图 3 密度调控方式对马铃薯各级别块茎产量的影响

大于 75 g 的块茎产量是构成商品薯产量的重要因素。播种穴数相同时，主茎数对商品薯产量的形成影响差异显著($P<0.05$)，两个品种都表现出多主茎产量大于单主茎产量。但主茎数相同时，播种穴数对尤金商品薯产量影响差异不显著($P>0.05$)，单主茎处理商品薯产量分别为 30.3 、 29.4 、 $29.7\text{ t}/\text{hm}^2$ ；多主茎处理商品薯产量分别为 31.6 、 30.7 、 $31.7\text{ t}/\text{hm}^2$ 。克新 13 号随着播种穴数增加商品薯产量先增加后减少，各处理间差异达到显著水平($P<0.05$)，单主茎处理商品薯产量分别为 28.5 、 38.9 、 $37.9\text{ t}/\text{hm}^2$ ；多主茎处理商品薯产量分别为 45.4 、 45.6 、 $44.4\text{ t}/\text{hm}^2$ 。

由此可见，多主茎处理更利于商品薯产量的形成。多主茎时，随着播种穴数增加， $75\sim200\text{ g}$ 各级别块茎产量增加， $>200\text{ g}$ 块茎产量下降。尤金 6-3 和 12-3 处理，克新 13 号 6-2 和 8-2 处理均形成了最高商品薯产量。在尤金 12-3 和克新 13 号 8-2 处理中 $75\sim200\text{ g}$ 各级别块茎产量增加弥补了 $>200\text{ g}$ 块茎产量的下降，从而商品薯产量增加；但尤金 9-3 和克新 13 号 10-2 处理中 $75\sim200\text{ g}$ 各级别块茎产量增加未能弥补 $>200\text{ g}$ 块茎产量的下降，因此商品薯产量下降。相比于尤金，密度调控对克新 13 号的商品薯产量影响更显著。因此在生产上应根据不同品种的生理特性，确定不同的密度调控方式。

2.4 密度调控方式对 $30\sim150\text{ g}$ 块茎产量的影响

在我国现有生产条件下，为了兼顾生产者和消费者的利益，可选择 $30\sim150\text{ g}$ 的块茎作为种薯^[12]。由表 3 可见，各生育时期 $30\sim150\text{ g}$ 块茎数量随单穴主

茎数和播种穴数的增加而增加。苗后 60 d 之前，该级别块茎比例随单穴主茎数和播种穴数增加而减小；苗后 60 d 之后，该级别块茎比例随单穴主茎数和播种穴数增加而增加。

由此可见，增加单穴主茎数和播种穴数都显著增加了块茎的数量，但块茎数量的增加限制了膨大期块茎的发育， $30\sim150\text{ g}$ 块茎比例增加。随着生育期的推进，该级别块茎产量先增加后减少，至收获期，随播种穴数或单穴主茎数的增加块茎产量增加。在淀粉积累期，12-3 栽培模式下，尤金 $30\sim150\text{ g}$ 块茎产量为 $18.2\text{ t}/\text{hm}^2$ ，占总产量的 70% ；克新 13 号在 8-2 的栽培模式下， $30\sim150\text{ g}$ 块茎产量为 $20.1\text{ t}/\text{hm}^2$ ，占总产量的 49% 。

3 讨论

William 等^[13]研究表明，适当增加种植密度会增加光合器官，有利于提高块茎产量。但高密度可能会加剧植株间对养分和空间的竞争，降低单株植株的光能转换效率，单株块茎产量下降^[14-16]。单位面积植株数量与单株产量的乘积决定了马铃薯的产量^[7]。适宜的密度调控方式可通过调控单株产量与单位面积的产量来激发作物增产潜力^[17-19]。展康等^[17]研究表明，在一定的密度范围内，群体的产量随着密度的增加而增加，但单株产量随着密度的增加而降低。本试验结果与此相似，主茎数相同时，播种穴数增加导致个体间竞争增加，块茎平均生长空间变小，单株块茎干物质积累量下降；但播种穴数增加可弥补单株块茎

表3 密度调控方式对30~150 g块茎产量的影响

项目	2014年 处理	出苗后天数(d)			2015年 处理	出苗后天数(d)			
		39	61	78		45	62	83	98
比例(%)	6-1	97 a	21 b	29 c	6-1	97 a	40 b	22 b	23 b
	6-3	90 a	55 a	44 ab	6-2	95 a	65 ab	41 ab	25 b
	9-1	95 a	35 ab	39 bc	8-1	93 a	43 b	24 b	25 b
	9-3	85 a	66 a	57 ab	8-2	90 a	76 a	49 ab	35 a
	12-1	87 a	46 ab	43 ab	10-1	93 a	51 ab	34 b	29 ab
	12-3	82 a	70 a	59 a	10-2	89 a	76 a	53 a	39 a
块茎数 (个/m ²)	6-1	18 b	7 b	10 c	6-1	14.0 b	14.7 b	10.7 a	7.5 b
	6-3	28 ab	33 ab	17 b	6-2	23.3 ab	31.3 a	27.3 bc	12.6 ab
	9-1	23 a	23 ab	14 bc	8-1	20.4 ab	15.1 b	13.3 ab	10.1 b
	9-3	38 a	49 a	24 a	8-2	27.6 a	32.9 a	30.2 c	16.5 a
	12-1	25 ab	31 ab	17 b	10-1	22.2 ab	31.1 a	17.8 abc	12.7 ab
	12-3	44 a	63 a	25 a	10-2	36.7 a	37.8 a	32.2 c	20.6 b
产量 (t/hm ²)	6-1	4.7 b	6.2 c	6.0 b	6-1	5.9 b	8.6 b	6.6 c	4.6 b
	6-3	6.9 ab	13.0 ab	8.4 a	6-2	9.9 ab	18.5 a	15.8 ab	7.9 ab
	9-1	5.5 b	7.6 c	6.4 b	8-1	8.9 ab	9.7 b	7.1 c	5.3 b
	9-3	7.8 ab	16.2 a	9.2 a	8-2	10.6 a	19.7 b	20.1 a	9.4 a
	12-1	7.0 ab	9.9 b	6.8 b	10-1	9.0 ab	12.9 ab	9.5 bc	6.2 ab
	12-3	10.8 a	18.2 a	10.1 a	10-2	12.9 a	18.9 a	19.0 ab	10.6 a

注：同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平。

干物质积累量的降低，最终实现单位面积块茎干物质积累量增加。块茎中干物质积累量的多少直接决定马铃薯块茎产量的高低^[18]，因此，增加块茎干物质积累量是保证产量的关键。

生产上种薯和商品薯对块茎大小的要求不同，种植密度是调节块茎数量及块茎大小的一种有效途径^[6]。因此密度的选择对商品薯和种薯生产非常重要，增加种植密度，平均薯重和商品薯率降低，小块茎比例增加^[16]。李勇等^[7]研究表明，主茎数对产量的直接贡献仅次于贡献最大的株高。由此可见，生产中可考虑通过控制主茎数调控马铃薯产量及块茎大小分布。因此，两年试验在控制播种穴数的同时，设置了单主茎处理和多主茎处理，试验结果表明，多主茎处理更利于商品薯产量的形成。尤金栽培模式为6-3和12-3时商品薯产量较高，分别为31.6 t/hm²和31.7 t/hm²；克新13号栽培模式为6-2和8-2时商品薯产量较高，分别为45.4 t/hm²和45.6 t/hm²。考虑到生产成本和田间管理，尤金商品薯生产模式可参考6-3处理，克新13号的商品薯生产模式可参考6-2处理。

优质种薯的特点之一是块茎大小适宜，除采用密度调控外，提早收获也是控制块茎大小的有效途径，且在北方还可以错过晚疫病传播期，提高种薯

质量^[20~21]。本研究的结果表明，增加单穴主茎数或播种穴数都将增加150 g以下块茎产量。早熟品种尤金的种薯生产可参考12-3的播种方式，苗后60 d左右收获；中晚熟品种克新13号可参考8-2的播种方式，苗后80 d左右收获。由此可见，虽然种植密度是调控块茎大小分布的有效途径，但是如何获得合理的调控方式，还要根据不同马铃薯品种的生理特性，采用不同密度调控方式以获得理想的种薯和商品薯产量。

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] 谷悦. 马铃薯将成我国第四大主粮主粮化进程受关注[J]. 中国食品, 2015(2): 86~87
- [3] Mamun M, 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
- [4] 雷尊国, 邓宽平, 彭慧元. 种植密度对马铃薯宣薯2号农艺性状及产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(12): 80~82
- [5] 李惠贤, 刘永贤, 李文宝, 等. 5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

- [6] Bikila A, Derbew B, Adugna D. Yield and quality of potato seed tuber as influenced by interand intra row spacing at Bako, Western Ethiopia[J]. Journal of Biological Sciences, 2014; 431–435
- [7] 李勇, 吕典秋, 高云飞, 等. 马铃薯原种的种植密度对植株性状、产量性状和经济参数的影响[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(1): 6–10
- [8] 何进勤, 桂林国, 马勤建. 宁夏中南部地区马铃薯双垄全膜覆盖沟播栽培密度试验[J]. 中国马铃薯, 2012, 26(6): 350–353
- [9] 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
- [10] 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
- [11] 谷浏涟, 孙磊, 石瑛, 等. 氮肥施用时期对马铃薯干物质积累转运及产量的影响[J]. 土壤, 2013, 45(4): 610–615
- [12] 王凤义, 石瑛, 卢翠华, 等. 中国马铃薯种薯生产标准化研究进展//中国马铃薯学术研讨会与第五届世界马铃薯大会论文集[C]. 2004: 77–82
- [13] Bohl W H, Stark J C, McIntosh C S. Potato seed piece size, spacing, and seeding rate effects on yield, quality and economic return[J]. American Journal of Potato Research, 2011, 88: 470–478
- [14] Bussan A J, Mitchell P D, Copas M E, et al. Evaluation of the effect of density on potato yield and tuber size distribution [J]. Crop Science, 2007, 47(6): 2462–2671
- [15] Giovanni M, Paolo S, Anita I, et al. Effects of intraspecific competition on yield of early potato grown in mediterranean environment[J]. American Journal of Potato Research, 2003, 80(4): 281–288
- [16] 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
- [17] 展康, 李祥能, 高连彭, 等. 种植密度与大薯留种对‘宣薯2号’产量的影响[J]. 中国马铃薯, 2012, 26(4): 217–219
- [18] 孙磊, 王弘, 李明月, 等. 氮磷钾肥施用量及施用时期对马铃薯干物质积累与分配的影响[J]. 作物杂志, 2014(1): 132–137
- [19] 金千瑜, 欧阳由男, 张国平. 覆膜旱栽水稻的产量与生育表现研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(4): 362–368
- [20] Chase R W. Harvest date and yielding potential of Onaway and Sedago Seed potatoes[J]. American Potato Journal, 1974, 51(2): 50–55
- [21] 王凤义, 秦听, 石瑛. 马铃薯种薯标准化生产//中国作物学会马铃薯专业委员会 2001 年年会论文集[C]. 2001: 149–156

Preliminary Study of Effect of Density Control Method on Potato Tuber Size

TIAN Jingxuan¹, SUN Lei^{1*}, YU Hongtao², BI Shiting¹, ZHANG Zeyu¹, TAI Feng¹

(¹ College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

² Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Suihua Branch, Suihua, Heilongjiang 152000, China)

Abstract: Field experiments were conducted to study the effect of density control method on the potato tuber size distribution. The planting density of 60 000, 90 000 and 120 000 holes/ hm^2 with 1 or 3 stems per hole were conducted with the variety of Youjin in 2014, and the planting density of 60 000, 80 000 and 100 000 holes/ hm^2 with 1 or 2 stems per hole were conducted with the variety of Kexin 13 in 2015 respectively. The yield of tubers of the grade 30–150 g increased by increasing the planting density or increasing stems, while the yield of tubers of the grade over 150 g decreased. To early maturing variety of Youjin, the planting density of 120 000 holes/ hm^2 with 3 stems per hole and harvest at 60 d after emergence was suitable for seed potatoes production, while 60 000 holes/ hm^2 with 3 stems per hole suitable for marketable tuber production. To late-maturing variety of Kexin 13, the planting density of 80 000 holes/ hm^2 with 2 stems per hole and harvest at 80 d was suitable for seed potatoes production and 60 000 holds/ hm^2 with 2 stems per hole suitable for marketable tuber production.

Key words: Potato; Planting density; Stem number; Density regulation; Tuber set