

种植密度对马铃薯种薯生产的影响

秦军红^{1,4}, 李文娟^{1,2}, 谢开云^{1,3,4,*}

¹国际马铃薯中心亚太中心(中国), 北京100081; ²禾众基金会, 北京100081; ³国家马铃薯工程技术研究中心, 山东乐陵253600; ⁴中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京100081

摘要: 与传统切块种植相比, 适宜大小的整薯播种, 不仅可以防止切刀传病, 提高植株抗性, 还可以节约生产成本, 提高种植效率。田间试验于2014和2015年在内蒙古察右中旗开展, 研究了不同种植密度和种薯大小对马铃薯(*Solanum tuberosum*)种薯生产中块茎产量和数量的影响, 旨在为整薯种植模式的推行提供支持。结果表明: (1)随着种植密度的增加, 块茎数量显著增加, 平均块茎重显著下降, 总产量变化不显著, 直径为40~55 mm的块茎占总产量的71.5%。(2)主茎密度与不同级别块茎的产量分布密切相关。随着主茎密度的增加, 直径<45 mm的块茎产量增加, 直径>55 mm的块茎产量降低, 直径在45~55 mm间的块茎产量随主茎密度的增加呈二次曲线变化。(3)提出了适用于种薯生产的适宜种植密度计算方法, 即种植者只需要提供目标产量、期望收获的块茎平均重量及计划使用的种薯大小, 就可以计算出适宜的种植密度。

关键词: 马铃薯; 种薯; 密度; 块茎产量; 块茎数量

中国是世界上最大的马铃薯(*Solanum tuberosum*)生产国。据联合国粮农组织(Food and Agricultural Organization, FAO)统计, 2013年中国马铃薯种植面积和生产总量分别占世界的29.7%和24.2%, 但单产却仅为 $15.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 是世界马铃薯平均单产的81%, 更是远低于世界发达国家的单产水平(李文娟等2015)。种植材料、种植条件和田间管理水平等均与产量息息相关。但是对于任何一种作物而言, 一粒好的种子是获得高产的基本保障。我国的马铃薯生产一般采用切块薯播种, 但切块不仅会导致薯块养分和水分的流失, 还会增加种薯的感病风险, 影响产量(姚卫华2008; 赵怀勇等2009), 且人工成本的逐年上升, 直接影响到马铃薯生产者的收益。在欧洲, 马铃薯生产者多采用整薯进行播种, 采用整薯不仅可以避免切块薯的上述不足, 还能提高出苗率, 有利于薯块提早形成, 同时, 还有利于保证长势的一致性, 提高田间管理的效率。研究表明, 与切块薯相比, 采用整薯播种可使产量提高20%以上(姚志刚2013; 李阳等2011)。因此, 我们认为随着马铃薯产业的发展, 采用整薯播种, 将成为我国马铃薯生产的必然选择。

要推行整薯播种的首要任务是生产出适合于整薯播种的种薯, 只有那些尺寸相对较小的种薯才是种植者们的最佳选择, 因为大的种薯直接导致种植成本增加。研究表明, 种薯大小和种植密度直接关系到收获块茎的产量、数量及分布。针对不同大小的种薯, 选择合适的种植密度, 是生产理想种薯的关键。本研究以马铃薯的原原种(G_1)

和原种(G_2)为试材, 研究了种薯大小和种植密度对收获块茎产量、数量和分布的影响, 旨在提出确定种植密度的合理方法, 提高中小种薯的生产效率, 为整薯播种的推广奠定基础。

材料与amp;方法

1 试验地基本情况

试验于2014和2015年在内蒙古察哈尔右翼中旗内蒙古正丰马铃薯种业股份有限公司种薯生产田开展。试验地基本情况和基础土壤养分含量见表1。

2 试验设置

供试马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)品种为‘费乌瑞它’。2014年, 选用2种不同直径的原原种和2种不同直径的原种作为种薯, 每个级别的种薯分别设置4个不同的种植密度, 5月18日播种, 8月28日收获; 2015年, 选用3种不同直径的原原种和3种不同直径的原种作为种薯, 每个级别的种薯分别设置5个不同的种植密度, 5月13日播种, 8月15日收获(表2)。每个处理设3次重复, 随机排列。播种行距为90 cm, 每小区4行, 行长6 m。

2014年生育期施肥总量为 $\text{N } 210 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 $233 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $\text{K}_2\text{O } 250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 2015年施肥总量为 $\text{N } 220 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 $183 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $\text{K}_2\text{O } 240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。按照当地习惯进行病害防治及田间管理。

收稿 2017-04-05 修定 2017-05-18

资助 国际马铃薯中心项目(1251-1013)。

* 通讯作者(E-mail: xiekaiyun@caas.cn)。

表1 试验地基本情况和土壤中的养分含量

Table 1 Basic information of experimental field and nutrition content in soil

年份	地理位置		海拔/m	土壤类型	前茬作物	土壤中养分含量			
	经度	纬度				有机质/g·kg ⁻¹	速效氮/mg·kg ⁻¹	速效磷/mg·kg ⁻¹	速效钾/mg·kg ⁻¹
2014	122°38'E	41°10'N	1 740	栗钙土	大麦	12.2	1.12	10.1	87
2015	112°35'E	41°16'N	1 740	栗钙土	大麦	13.6	1.04	13.2	79

表2 田间试验的不同处理

Table 2 Different treatments in the field experiments

年份	代次	种薯直径/mm	种植密度/×10 ³ 株·hm ⁻²
2014	G ₁	17.5~20、20~25	90、105、120、135
	G ₂	25~35、35~45	75、90、105、120
2015	G ₁	12.5~15、15~20、20~25	75、90、105、120、135
	G ₂	25~35、35~45、45~55	45、60、75、90、105、120

3 样品采集与测定

收获时,取各小区中间两行3 m范围内的植株进行调查,统计主茎数、各级别块茎数量和重量。2015年,收获的块茎样品全部采用方孔筛分级,共分为10级(<25、25~30、30~35、35~40、40~45、45~50、50~55、55~60、60~65、>65 mm)。

实验结果

1 种植密度和种薯大小对块茎产量的影响

本研究主要针对种薯生产,所以设置的种植密度较高,原原种的种植密度为75 000~135 000株·hm⁻²,原种的种植密度为45 000~120 000株·hm⁻²。两年的田间试验结果显示,随着种植密度的增加,马铃薯产量变化不显著。收获原种的产量范围为29.4~43.5 t·hm⁻²,平均为35.0 t·hm⁻²;收获一级种薯的产量范围为34.3~45.6 t·hm⁻²,平均为40.1 t·hm⁻²。一级种薯的产量高于原种产量。除2015年,直径为20~25 mm的原原种所获得的产量要显著高于12.5~15和15~20 mm原原种所获得的产量外,在其他情况下,种薯大小对产量的影响并不明显(图1)。

2 主茎密度对产量和块茎平均重量的影响

主茎密度与马铃薯产量关系密切。从图2可见,随着主茎密度的增加,产量也逐渐增加,由于本研究所设置的种植密度相对较高,产量随主茎密度增加的趋势并没有达到显著水平。但随着主茎密度的增加,块茎平均重量却显著下降,收获原种的块茎平均重量范围为65.9~98.3 g,平均为81.9 g;

收获的一级种薯的块茎平均重量范围为50.3~100.7 g,平均为72.7 g。原种的产量虽高于一级种薯的产量,但由于原原种直径较小,单株主茎数较少,虽然种植密度较高,但主茎密度却低于原种的主茎数,所以收获块茎平均重量较小。

3 主茎密度对块茎分布的影响

2015年收获的所有块茎按直径大小分为10级。图3显示的是不同处理各级别块茎重量百分比的平均值,结果表明:不同级别块茎的分布呈中间高两端低的趋势,直径为40~45、45~50和50~55 mm的块茎占比较高,分别占总产量的18.6%、25.8%和27.1%,合计71.5%;直径小于40 mm和大于55 mm的块茎重量百分比分别随直径的减小和增大而降低。

如图4所示,主茎密度对不同级别块茎重量的影响不同,直径在45 mm以下的块茎重量均随着主茎密度的增大而增加;直径为45~50和50~55 mm的块茎重量在不同主茎密度下的分布呈二次曲线的变化趋势;直径在55 mm以上的块茎重量随主茎密度的增大而下降。可见,不同级别块茎的分布可以通过主茎密度来调控,增加主茎密度可显著增加小级别块茎的重量。

4 种植密度和种薯大小对块茎数量的影响

由图5可见,随着种植密度的增大,收获的块茎数量呈显著增加的趋势。收获原种的块茎数量范围为33.8~58.9万个·hm⁻²,平均为43.2万个·hm⁻²;收获一级种薯的块茎数量范围为39.0~74.9万

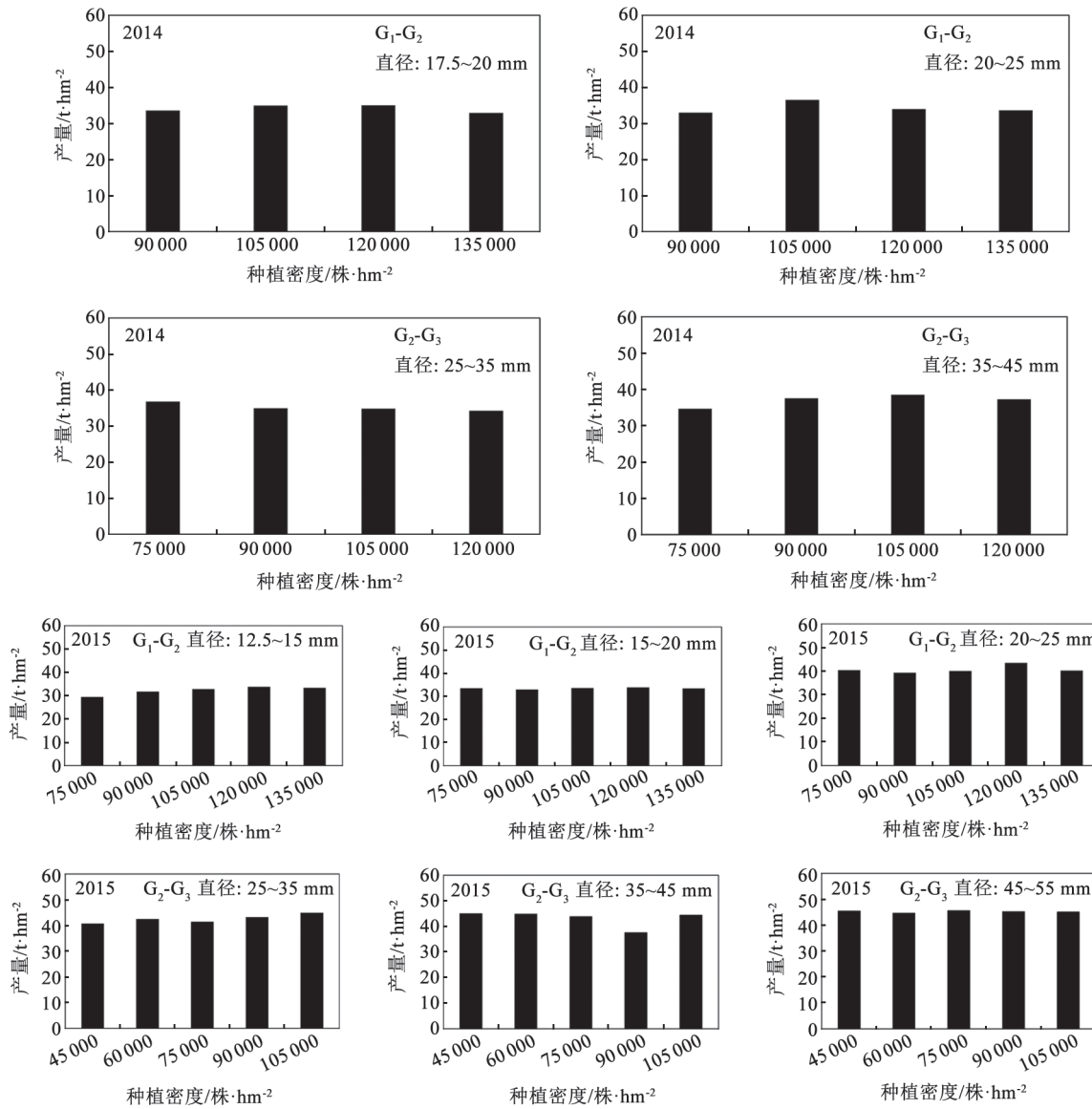


图1 种植密度和种薯大小对马铃薯产量的影响

Fig.1 Effects of planting density and seed size on potato yield

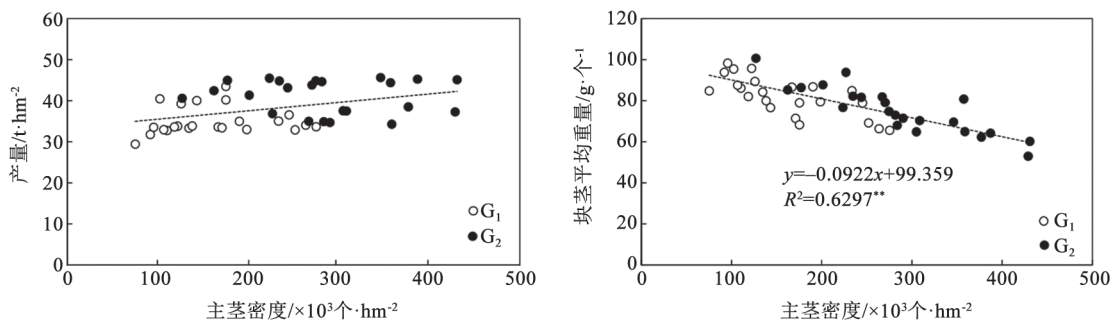


图2 主茎密度对产量和块茎平均重量的影响

Fig.2 Effects of stem density on potato yield and average tuber yield

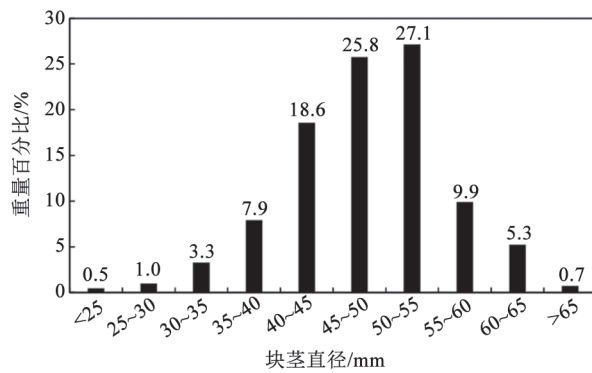


图3 不同直径的块茎重量占总产量的百分比
Fig.3 Percentage of tuber weigh with different sizes on the total yield

个 $\cdot\text{hm}^{-2}$, 平均为55.5万个 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。收获一级种薯的块茎数量高于收获原种的块茎数量。级别相同的种薯在相同种植密度下, 大种薯生产的块茎数量高于小种薯, 这主要是因为大种薯主茎数较多的缘故。分析表明, 收获块茎数量与主茎密度的相关性显著高于与种植密度的相关性, 且可用对数曲线进行拟合(图6)。

5 种薯种植密度推荐

由上述分析可知, 主茎密度影响收获块茎数量和各级别块茎分布, 而主茎密度由种植密度和单株主茎数决定, 种薯大小是影响单株主茎数的重要因素之一。由图7可见, 随着种薯重量的增加, 单株主茎数显著增加, 二者呈显著的直线相关关系。基于本研究的结果, 我们提出了一种针对种薯种植密度的推荐方法: (1)根据经验确定目标产量(Y_{target})和希望收获的块茎平均重量(ATW_{target} ; 由图8估算), 计算出希望获得的块茎总数(TN): $TN=Y_{\text{target}}/ATW_{\text{target}}$; (2)计算所需要的主茎密度(SN): $SN=e^{(TN+462.68)/179.93}$; (3)测定准备用于种植的种薯平均重量(STW), 按公式计算单株主茎数(SNPT): $SNPT=0.0427\times STW+1.1684$; (4)计算出推荐使用的种植密度(PD): $PD=SN/SNPT$ 。

讨 论

种薯是马铃薯生产中的主要投入之一。一般情况下, 种薯的投入占到原种生产(G_2)总投入的40%~50%, 一级种薯(G_3)生产总投入的15%~25%, 商品薯生产总投入的10%~20%。除用于原种生产

的原原种是按粒出售外, 用于一级种薯生产及商品薯生产的种薯, 均以重量为单位出售。因此, 对于一级种薯和商品薯生产者而言, 小种薯更受种植者的喜爱, 因为与大种薯切块相比, 相同重量的小种薯出芽更多, 也就是说在主茎密度一定时, 单位面积上使用的种薯重量越小, 与之相对应的种薯投入也相应较少。因此, 收获块茎的大小直接关系到种薯生产者的利益, 在产量相对稳定的前提下, 提高小种薯的生产效率十分重要。

合理增加种植密度是马铃薯种薯生产的重要控制技术环节之一(周训究等2011), 选择合理的种植密度, 可以提高繁殖系数、增加总块茎数, 提高中小薯的数量。有研究表明, 与种植密度相比, 主茎密度与块茎重量和块茎数量的关系更为密切, 块茎产量和数量均随着主茎密度的增加而增加(Bussan等2007), 而Hammes (1985)和Shayanowako等(2014)的研究发现, 主茎密度对块茎数量虽有显著影响, 但对块茎产量的影响并不显著。在本研究中也发现随着主茎密度的增加, 收获块茎数呈增加趋势, 但对块茎产量却没有显著影响, 这主要是因为本研究主要针对种薯生产, 所设置的种植密度相对较高, 可能导致密度对产量的影响处于平台期。本研究还发现, 直径为40~55 mm的块茎产量占到总产量的71.5%, 且随着主茎密度增加, 中小种薯的比例显著增加, 这与前人研究结果相吻合(Shayanowako等2014), 单个薯块的平均重量随之显著下降。

基于主茎密度与块茎数量间的相关性, 前人也多次尝试用数学模型(二次曲线、对数函数、双曲线函数等)来拟合二者的变化规律(Bussan等2007; Allen和Wurr 1992; Särekanno等2010)。分析发现, 本研究中主茎密度与块茎数量间的相关关系更符合对数函数的变化趋势。根据这个相关关系, 我们提出了针对马铃薯种薯生产的最佳密度估算模型。值得注意的是, 除种植密度和种薯大小外, 种薯的生理年龄(Coleman 2000)、品种特性(Love和Thompson-Johns 1999)、播种时间(Haverkort等1990)、生长条件(Knowles和Knowles 2006; Wurr等1997)、内源激素的变化(Sohn等2011)等因素也会对块茎产量的组成和分布产生显著的影响, 因此, 该推荐方法还有待于进一步的验证和完善。

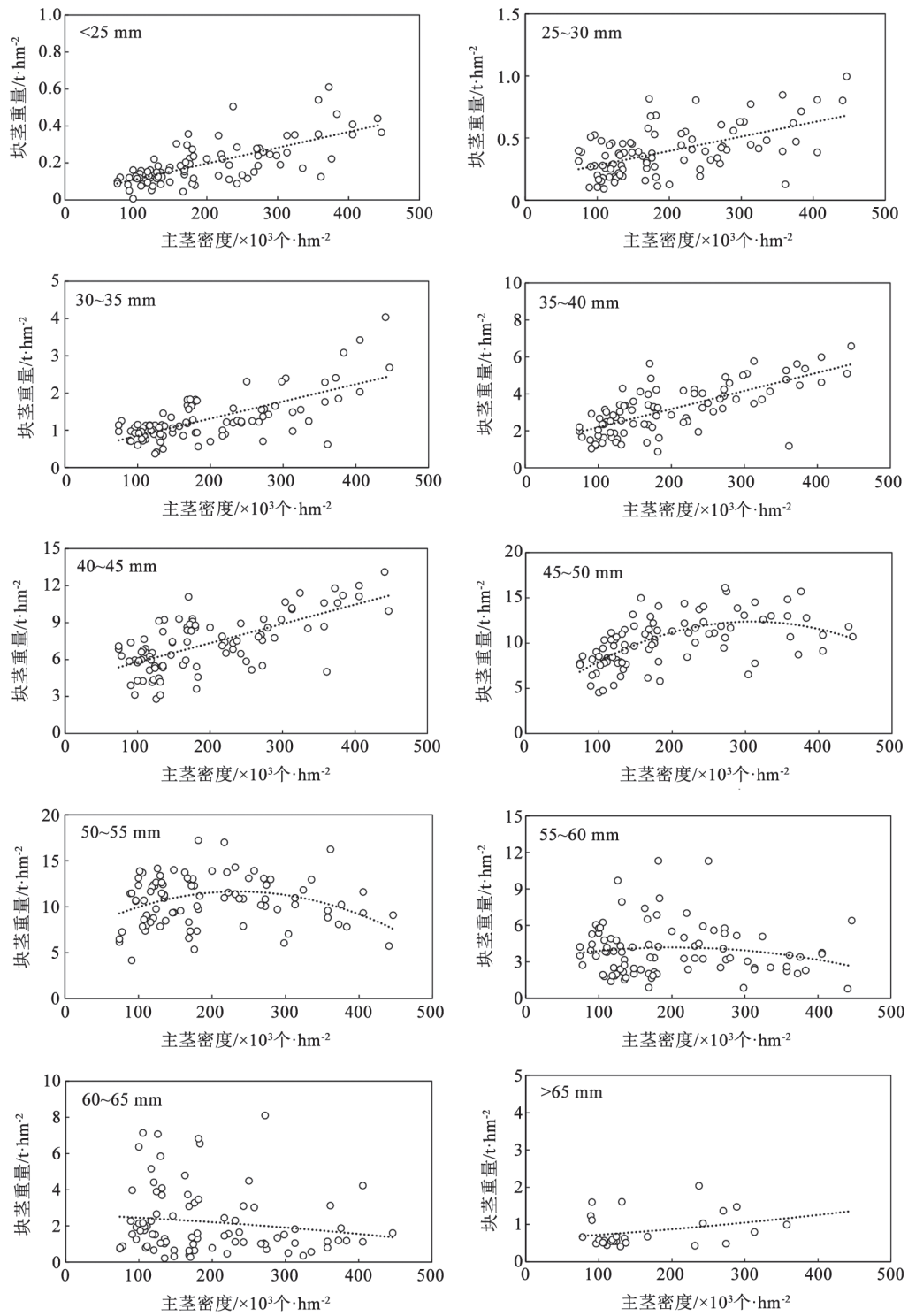


图4 主茎密度对不同直径块茎重量的影响

Fig.4 Effect of stem density on tuber weight with different sizes

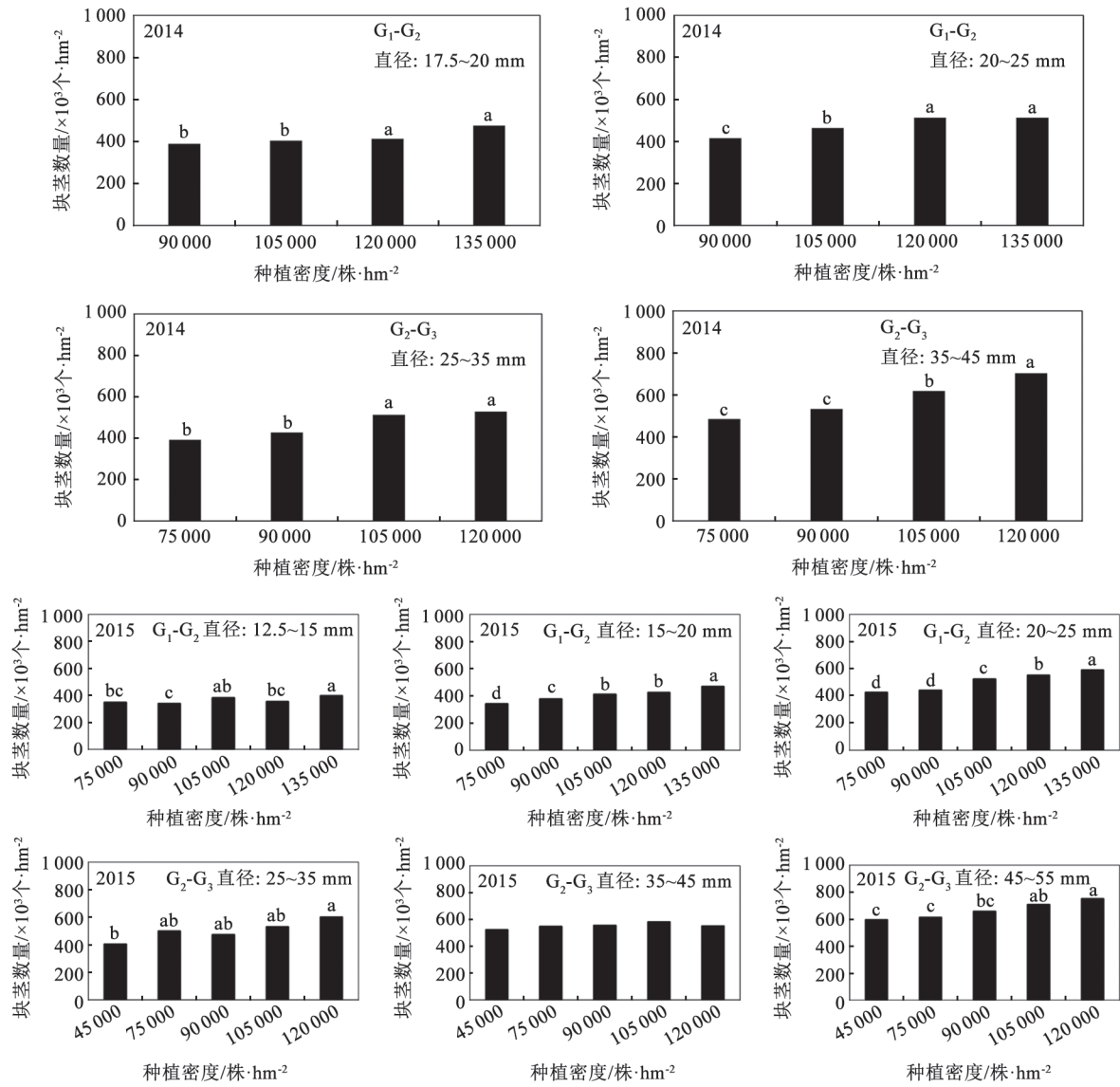


图5 种植密度和种薯大小对马铃薯块茎数量的影响

Fig.5 Effect of plant density and seed size on potato tuber number

相同小写字母代表0.05水平差异不显著, 不同小写字母表示0.05水平上差异显著。

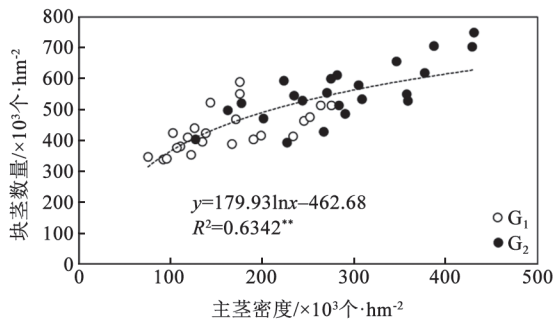


图6 主茎密度对块茎数量的影响

Fig.6 Effect of stem density on tuber number

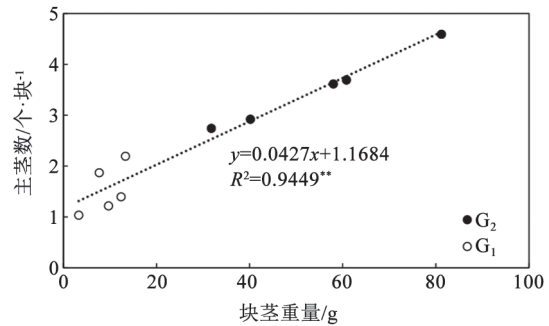


图7 主茎数随块茎重量增加的变化趋势

Fig.7 The change trend of stem number with tuber weight increasing

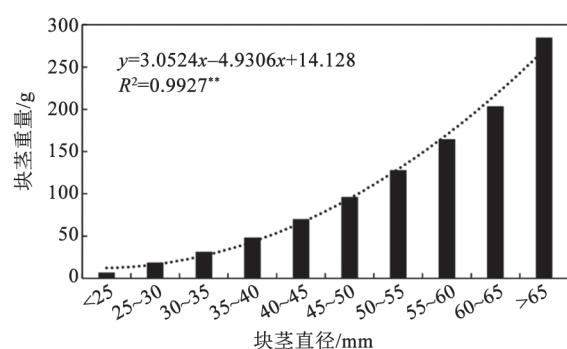


图8 块茎重量随块茎直径增大的变化情况

Fig.8 The change in tuber weight with tuber size increasing

参考文献

- Allen EJ, Wurr DCE (1992). Plant density. In: Harris PM (ed). The Potato Crop: the Scientific Basis for Improvement. London: Chapman and Hall, 292-333
- Bussan AJ, Mitchell PD, Copas ME, Drilias MJ (2007). Evaluation of the effect of density on potato yield and tuber size distribution. *Crop Sci*, 47: 2462-2472
- Coleman WK (2000). Physiological ageing of potato tubers: a review. *Ann Appl Biol*, 137: 189-199
- Hammes PS (1985). The effect of stem population on tuber yield in a trail with single-stem seed pieces. *Potato Res*, 28 (1): 119-121
- Haverkort AJ, Waart MV, Bodlaender KBA (1990). Effect of pre-planting temperature and light treatments of seed tubers on potato yield and tuber size distribution. *Potato Res*, 33: 77-88
- Knowles NR, Knowles OL (2006). Manipulating stem number, tuber set, and yield relationships for northern- and southern-grown potato seed lots. *Crop Sci*, 46: 284-296
- Li WJ, Qin JH, Gu JM, Qiu ZJ, Zhou J, Xie KY, Lu XP (2015). Developing potato as a staple food in China based on world potato development. *Food Nutr China*, 21 (7): 5-9 (in Chinese with English abstract) [李文娟, 秦军红, 谷建苗, 仇志军, 周俊, 谢开云, 卢肖平(2015). 从世界马铃薯产业发展谈中国马铃薯的主粮. *中国食物与营养*, 21 (7): 5-9]
- Li Y, Liu SH, Ding SC, Lin HM, Zhou JJ (2011). Impacts of entire potato size and planting density on growth and yield of potato. *Hunan Agric Sci*, (11): 49-52, 55 (in Chinese with English abstract) [李阳, 刘世海, 丁世成, 蔺海明, 周建军(2011). 整薯大小与栽培密度对马铃薯生长发育及产量的影响. *湖南农业科学*, (11): 49-52, 55]
- Love SL, Thompson-Johns A (1999). Seed piece spacing influences yield, tuber size distribution, stem and tuber density, and net returns of tree processing potato cultivars. *Hortic Sci*, 34 (4): 629-633
- Särekanno M, Kadaja J, Kotkas K, Rosenberg V, Vasar V, Saue T, Eremeev V (2010). Yield potential and tuber-size distribution using EVIKA multiplication methods. *Acta Agric Scand B-Soil Plant Sci*, 60: 297-306
- Shayanowako A, Mangani R, Mtaita T, Mazarura U (2014). Effect of stem density on growth, yield and quality of potato variety amethyst. *Afr J Agric Res*, 9 (17): 1391-1397
- Sohn HB, Lee HY, Seo JS, Jung C, Jeon JH, Kim J-H, Lee YW, Lee JS, Cheong J-J, Choi YD (2011). Overexpression of jasmonic acid carboxyl methyltransferase increases tuber yield and size in transgenic potato. *Plant Biotechnol Rep*, 5: 27-34
- Wurr DCE, Hole CC, Fellows JR, Milling J, Lynn JR, O'Brien PJ (1997). The effect of some environmental factors on potato tuber number. *Potato Res*, 40: 297-306
- Yao WH (2008). Comparative study on potato yields from whole and cutting seeds. *Rain Fed Crops*, 28 (4): 265-266 (in Chinese) [姚卫华(2008). 马铃薯小薯整播与切块播种产量对比研究. *杂粮作物*, 28 (4): 265-266]
- Yao ZG (2013). Effects of whole and piece tuber sowing on dry matter accumulation and distribution of potato. *Guangdong Agric Sci*, (21): 24-27 (in Chinese with English abstract) [姚志刚(2013). 整薯和切块播种对马铃薯干物质积累及分配的影响. *广东农业科学*, (21): 24-27]
- Zhao HY, He XC, Zhang HJ, Zhang EH, Zhang XH, Xue L (2009). Effect on growth, yield and quality of potato with whole seed tuber sowing. *J Gansu Agric Univ*, 44 (3): 53-57 (in Chinese with English abstract) [赵怀勇, 何新春, 张红菊, 张恩和, 张新慧, 薛龙(2009). 整薯播种对马铃薯生长发育及产量和品质的影响. *甘肃农业大学学报*, 44 (3): 53-57]
- Zhou XX, Zhang RD, Tang Y, Wang DQ (2011). Effects of different planting time and density on seed potato yield and production efficiency. *Agric Technol Serv*, 28 (4): 414-415 (in Chinese) [周训宪, 张荣达, 唐义, 王道琴(2011). 不同播期和密度对马铃薯种薯扩繁产量及效益的影响. *农技服务*, 28 (4): 414-415]

Effect of planting density on seed potato production

QIN Jun-Hong^{1,4}, LI Wen-Juan^{1,2}, XIE Kai-Yun^{1,3,4,*}

¹CIP-China Center for Asia Pacific (CCCAP), Beijing 100081, China; ²Solidaridad, Beijing 100081, China; ³National Potato Engineering and Technology Research Center, Laoling, Shandong 253600, China; ⁴The Institute of Vegetables and Flowers Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract: Comparing with cutting seed technology, whole seed technology can reduce disease and virus infection, which could improve the plant resistance itself and save production cost including chemical input and seed input as well as labor input for seed cutting, then improve production efficiency. Field experiments were carried out in 2014 and 2015 in Chayouzhongqiin, Inner Mongolia to study the effect of different planting densities and seed tuber sizes on tuber yield and tuber number in seed potato production to provide support for the implementation of the whole seed technology. The results showed that: (1) under the treatments of the research, with the planting density increasing, the number of tubers increased and the average tuber weight dropped significantly, but the total yield had little change. The tubers with the size between 40 and 55 mm were the main part of the total yield, which accounted for 71.5% of the total. (2) There were close relationship between stem density and weight distribution of different size tubers. As the increasing of the stem density, the yield of tubers with diameter < 45 mm increased, the yield of tubers with diameter > 55 mm decreased, and the yield of tubers between 45 to 55 mm in diameter changed as a quadratic curve. (3) A model on planting density recommendation for seed potato production was developed. Seed potato growers just need to give a target tuber number based on target yield and average seed tuber weight/size (ATW/ATS), and they can calculate the recommended plant density by the model.

Key words: potato; seed; density; tuber yield; tuber number

Received 2017-04-05 Accepted 2017-05-18

This work was supported by the International Potato Center (Grant No. 1251-1013).

*Corresponding author (E-mail: xiekaiyun@caas.cn).