

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2017)01-0018-07

马铃薯品种‘荷兰15号’主茎密度与植株性状及块茎产量的关系

雷雪萍¹, 李 勇², 白雅梅³, 吕文河^{1*}

(1. 东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院植物脱毒苗木研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086;

3. 东北农业大学资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 在中国, 马铃薯种植密度一般以单位面积播种的种薯(块)数来表示。然而, 马铃薯不同于其他主要粮食作物, 种薯(块)上有多个芽眼, 可以长出多个主茎。每个主茎有自己的根、匍匐茎、块茎、叶和花序。因此, 把单位面积的主茎数作为马铃薯种植密度更为合理。试验在大垄(90 cm)机械化栽培的条件下, 明确马铃薯‘荷兰15号’主茎密度与植株性状及块茎产量的关系, 通过种薯切块大小和切块种植密度的不同获得单位面积有差异的主茎数。试验采用二因素裂区设计, 3次重复。种薯切块大小被安排在主区, 分别设30, 50和70 g共3个处理; 株距被安排在副区, 分别设10, 15, 20, 25, 30, 35和40 cm共7个处理。单位面积的主茎数越多, 单位面积的总块茎数就越多, 但平均块茎重却越小。然而, 主茎数与总产、商品薯产量、商品薯个数关系却不是直线的, 可用二次多项式描述其之间的关系。对总产量来说, $Y_{\text{总产}} = 903.2782 + 63.5709X - 0.9149X^2$ ($R^2 = 0.7597$, $P < 0.0001$), 当 X (主茎数)在35时, $Y_{\text{总产}}$ 有极大值2 008, 即: 当主茎数 = 35个/m², 总产量 = 2 008 kg/667m²。该研究结果可为‘荷兰15号’的高产栽培提供理论依据。

关键词: 马铃薯; 主茎密度; 植株性状; 产量

Relationships of Main Stem Density to Plant Traits and Tuber Yield in 'Helan 15' Potatoes

LEI Xueping¹, LI Yong², BAI Yamei³, LU Wenhel^{1*}

(1. College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China; 2. Virus-free Seedling Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086, China; 3. College of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: Planting density of potatoes in China is usually expressed in the number of seed tubers (seed pieces) planted per unit area. However, potato seed tuber (seed piece), different from seeds of other food crops, has more than one eye, and can produce multiple main stems. A single stem has its own roots, stolons, tubers, foliage and inflorescences. Thus, it is more logical to treat main stem number per unit area as a unit of population. The purpose of this research was to understand the relationships of main stem density to plant traits and tuber yield in 'Helan 15' potatoes cultivated mechanically in large ridged-row (90 cm). Various main stem numbers per unit area were attained through manipulating seed piece size and in-row spacing. The experiment was laid out in a split plot design of three

收稿日期: 2016-12-27

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAD06B02)。

作者简介: 雷雪萍(1990-), 女, 硕士研究生, 主要从事马铃薯栽培技术研究。

*通信作者(Corresponding author): 吕文河, 教授, 主要从事马铃薯遗传育种与栽培生理研究。

replications, with seed piece size (30, 50 and 70 g) being arranged into main plots and in-row spacing (10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 cm) into split plots. Main stem number per unit area was positively associated with total tuber number, but negatively with mean tube weight. However, the relationships of main stem density to the total yield, marketable tuber yield, and marketable tuber number were not linear, and could be described using quadratic polynomial equations. For the total yield, $Y_{\text{total yield}} = 903.2782 + 63.5709X - 0.9149X^2$ ($R^2 = 0.7597$, $P < 0.0001$), and when $X = 35$, $Y = 2008 \text{ kg}/667\text{m}^2$, the highest value. These results might provide theoretic basis for high-yielding cultivation of 'Helan 15' potatoes.

Key Words: potato; main stem density; plant trait; yield

种植密度是马铃薯生产中考要考虑的一个重要因素。在中国,一般种植密度以单位面积播种的种薯(块)数来表示。在行距一定的条件下,为了方便种植密度也有用株距来表示的,这就特别适合机械播种来确定播种密度。然而,马铃薯不同于其他作物,播下的种薯(块)由于可能有多个芽眼,所以可长出多个主茎(从芽眼的芽长出的茎),每个主茎可以看作是一个独立的植株^[1]。研究发现,主茎密度,定义为单位面积的主茎数,是表示马铃薯种植密度最恰当的指标^[2-4]。例如,Reestman和de Wit^[5]的研究表明,马铃薯产量在很大程度上依赖于单位面积上的主茎数,其影响程度大于单位面积上播种的种薯数量。

英国的研究发现,总产和块茎大小的分布受单位面积主茎数影响^[2,6,7]。Allen^[8]的研究结果表明,块茎数和平均块茎重受主茎密度、空间分布、品种以及环境的控制。相反,Goodwin等^[9]和Holmes^[10]却没有发现主茎密度和块茎产量这种关系。在北美,Irritani等^[11]以及Lynch和Rowberry^[12]发现,马铃薯品种‘Russet Burbank’块茎产量和主茎数之间存在很强的正相关关系。一般来说,主茎数较高会导致每株(穴)块茎数较多,但平均块茎重则较少^[13]。然而,把单位面积主茎数作为密度指标的研究在中国还鲜有报道。

‘荷兰15号’是马铃薯品种‘Favorita’的选系之一。该品种早熟,株型直立繁茂,长势强;叶片肥大,叶色浓绿,茎粗壮;单株结薯数4~5个且较集中,块茎膨大速度快薯块较大且均匀,呈长椭圆形,外表光滑,芽眼少而浅,淡黄皮淡黄肉;块茎休眠期短,耐贮藏。更为重要的是‘荷兰15号’产量潜力高,食味好,因此深受广大种植者和消费者

的喜爱。试验在大垄(90 cm)机械化栽培的条件下,明确马铃薯品种‘荷兰15号’主茎密度与植株性状及块茎产量的关系,以期为该品种的高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

‘荷兰15号’原种1代,由黑龙江省农业科学院植物脱毒苗木研究所提供。

1.2 试验方法

由于主茎数受品种、贮藏及种植时土壤温度、种薯切块大小、株行距等因素的影响,设计试验时采用同一品种,相同种薯来源,但种薯切块大小、切块种植密度不同,以便获得单位面积有差异的主茎数。试验采用二因素裂区设计,3次重复。种薯切块大小被安排在主区,分别设30, 50和70 g共3个处理;株距被安排在副区,分别设10, 15, 20, 25, 30, 35和40 cm共7个处理。每小区6行,行长6 m,垄距90 cm,小区面积32.4 m²。

试验设在黑龙江省克山县一农场(N 48°26', E 126°)。该地区年平均降雨量500 mm左右,无霜期120 d,年均温1.5℃。土壤为黑钙土,有机质含量44 g/kg,速效N、P₂O₅、K₂O分别为181, 129.4和335 mg/kg。pH 5.89。2013年5月7日,进行深松整地,整地深度30 cm。5月14日,用播种机的开沟器开沟,肥料选用马铃薯专用复混肥(20:12:18)750 kg/hm²,播种时施肥按试验方案采用一次性施肥方式。5月15日按试验方案播种,后续田间管理同当地商品薯生产大田。

7月25日(盛花期)测定植株性状,测定指标和测定方法如下:

株高(cm): 指从茎基部到主茎最高生长点的距离, 每小区随机测定10株, 用米尺测量其株高, 取平均值。

茎粗(mm): 指主茎基部的直径长度, 每小区随机测定10株, 用游标卡尺测量垂直于茎方向和平行于茎方向的茎粗, 再求10株的平均值。

叶面积指数: 每个小区随机抽取3株并取下所有绿色叶片, 取一部分称重并用叶面积分析仪测定叶面积, 根据比例关系计算出单株叶面积, 再换算成单位面积(1 m²)的叶面积(叶面积指数)。

主茎数(个/m²): 指单位面积上所有的主茎个数, 每小区随机测定10株, 取平均值, 再换算成个/m²。

分枝数(个/m²): 指单位面积上所有从主茎长出分枝的个数, 每小区随机取10株, 取平均值, 再换算成个/m²。

9月19日收获, 测定产量。每小区去除边际2行, 中间4行取中间2行4 m测产量, 分别测定以下几个重要的产量性状:

商品薯数和商品薯产量: 商品薯要求块茎大小大于75 g。收获时, 按小区取样面积(7.2 m²)分别

测定商品薯数和商品薯重。然后, 折算成单位面积(667m²)数据。

总薯数和总产量: 测定各小区取样面积内的所有块茎数和块茎重。同样, 折算成单位面积(667m²)数据。

平均块茎重(g/个): 取样面积块茎重/取样单位面积块茎数。

1.3 统计分析

株高、茎粗以小区平均值为单位进行统计分析, 叶面积指数、主茎数、分枝数以小区每平方米数值为单位进行统计分析, 产量及相关数据按667m²数值进行分析, 处理平均值多重比较采用新复极差法。采用处理平均值进行相关分析和回归分析。数据整理和统计分析分别采用Excel 2010和DPS 15.10进行。

2 结果与分析

2.1 不同种薯切块大小和株距对主茎数的影响

不同种薯切块大小、不同株距对单位面积主茎数的影响极显著, 种薯切块大小和株距的互作效应对单位面积主茎数的影响亦达极显著水平(表1)。

表1 种薯切块大小和密度二因素裂区设计单位面积主茎数方差分析

Table 1 Analysis of variance for main stem number per unit area in a two-factor split-plot design of seed piece size and in-row spacing

变异来源 Variation source	DF	SS	MS	F	P
区组 Block	2	22.952 4	11.476 2		
种薯切块大小(A) Seed piece size (A)	2	914.666 7	457.333 3	51.496	0.001 4
误差 a E _a	4	35.523 8	8.881 0		
株距(B) In-row spacing (B)	6	5 507.047 6	917.841 3	217.111	<0.000 1
A × B	12	169.333 3	14.111 1	3.338	0.002 5
误差 b E _b	36	152.190 5	4.227 5		
总和 Total	62	6 801.714 3			

处理组合主茎数的变化范围6~45个/m², 以种薯切块30 g株距40 cm的处理组合主茎数最少, 而切块70 g株距10 cm的处理组合主茎数最多。对主效应来说, 种薯切块30, 50和70 g的主茎数分别为13, 18和22个/m², 而株距10, 15, 20, 25,

30, 35和40 cm的主茎数分别为37, 24, 19, 14, 12, 10和8个/m²(表2)。因此, 种薯切块越大, 单位面积的主茎数就越多, 而株距越小, 单位面积的主茎数则越多; 虽然种薯切块大小和株距互作极显著, 但仍可发现小种薯切块结合大株距单位

面积的主茎数少, 而大种薯切块结合小株距则可以获得较多的单位面积主茎数。从本试验数据来看,

不同种薯切块大小和不同株距组合可以创造出变化范围广泛的单位面积主茎数, 满足试验目的的需要。

表2 不同种薯切块大小和株距对主茎数的影响(个/m²)

Table 2 Effects of seed piece size and in-row spacing on main stem number per unit area (No./m²)

株距(cm) In-row spacing	种薯切块大小(g) Seed piece size			
	30	50	70	株距平均 Average for in-row spacing
10	32 c	36 b	45 a	37 a
15	17 fgh	23 d	33 bc	24 b
20	14 hi	20 def	22 de	19 c
25	9 kl	14 hi	18 efg	14 d
30	9 kl	13 hij	15 gh	12 de
35	6 l	11 ijk	14 hi	10 e
40	6 l	9 kl	10 jk	8 f
种薯切块平均 Average for seed piece size	13 c	18 b	22 a	

注: 处理平均值后跟相同小写字母表示差异未达到0.05水平显著, 新复极差法。

Note: Treatment means followed by a common small letters are not significantly different at 0.05 level of probability using Duncan's multiple range test.

2.2 植株性状与产量性状的相关分析

主茎数与叶面积指数、株高呈极显著或显著正相关, 相关系数分别为0.827 8、0.545 0, 而与茎粗则呈极显著负相关, 相关系数-0.831 3。这说明单位面积上主茎数较多, 则叶面积指数较大、株高较高, 但茎粗较细。在被测的植株性状中, 单位面积主茎数与总块茎数、总产量的相关系数较大, 分别为0.939 5和0.785 7, 均达极显著水平。叶面积指数与总块茎数、总产量也呈极显著正相关, 相关系数分别为0.710 5和0.612 4。再者, 株高和总块茎数、总产量也呈显著或极显著正相关, 相关系数分别为0.505 4和0.594 9。但是, 分枝数和茎粗与总块茎数和总产则呈极显著的负相关, 相关系数分别为-0.879 7, -0.846 3以及-0.756 1, -0.713 7。这说明主茎数多、叶面积指数大、植株高, 单位面积上的总块茎数多和总产量高, 而主茎较粗、单位面积分枝数较多则不利于总块茎数和总产的形成。茎粗、分枝数与平均块茎重呈极显著正相关, 相关系数分别为0.855 1和0.823 5, 而主茎数、叶面积指数与平均块茎重则呈极显著或显著负相关, 相

关系数分别为-0.813 0和-0.548 2。植株性状与商品薯块茎数、商品薯产量的相关性与植株性状与总块茎数、总产量的相关方向相同, 但相关程度低于后者(表3)。

2.3 主茎数与产量性状的曲线关系

在主茎数和产量性状的二次多项式关系中, 除主茎数与总块茎数、平均块茎重的二次项回归系数不显著外, 其他3个方程的二次多项式系数均达极显著水平(表4)。这说明主茎数与总块茎数、平均块茎重的关系可用直线方程来描述, $Y_{\text{总块茎数}} = 9\,291.800\,6 + 408.013\,9X$ ($R^2 = 0.882\,6$, $P < 0.000\,1$), $Y_{\text{平均块茎重}} = 122.064\,9 - 1.081\,8X$ ($R^2 = 0.661\,0$, $P < 0.000\,1$)。也就是说, 单位面积的主茎数越多, 单位面积的总块茎数就越多, 但平均块茎重却越小。然而, 主茎数与总产、商品薯产量、商品薯个数的关系却不是直线的。主茎数和总产量的关系可用二次多项式 $Y_{\text{总产}} = 903.278\,2 + 63.570\,9X - 0.914\,9X^2$ ($R^2 = 0.759\,7$, $P < 0.000\,1$)拟合, 当 X (主茎数)在35时, $Y_{\text{总产}}$ 有极大值2 008, 即: 当主茎数 = 35个/m², 总产量 = 2 008 kg/667m²。主茎数和商品薯产量的

表3 植株性状和产量性状之间的相关系数
Table 3 Correlation coefficient between plant traits and yield traits

变量 Variable	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主茎数 Main stem number	分枝数 Branch number	叶面积指数 Leaf area index	总产 Total yield	总个数 Total tuber number	平均块茎重 Mean tuber weight	商品薯产量 Marketable tuber yield
茎粗 Stem diameter	-0.223 5								
主茎数 Main stem number	0.545 0*	-0.831 3**							
分枝数 Branch number	-0.359 9	0.752 0**	-0.799 2**						
叶面积指数 Leaf area index	0.560 6**	-0.636 6**	0.827 8**	-0.371 1					
总产 Total yield	0.594 9**	-0.713 7**	0.785 7**	-0.756 1**	0.612 4**				
总个数 Total tuber number	0.505 4*	-0.846 3**	0.939 5**	-0.879 7**	0.710 5**	0.895 3**			
平均块茎重 Mean tuber weight	-0.232 5	0.855 1**	-0.813 0**	0.823 5**	-0.548 2*	-0.592 9**	-0.861 6**		
商品薯产量 Marketable tuber yield	0.541 0*	-0.390 4	0.384 0	-0.422 2	0.305 4	0.846 2**	0.556 5**	-0.185 2	
商品薯个数 Marketable tuber number	0.512 4*	-0.678 8**	0.666 7**	-0.715 1**	0.482 2*	0.921 7**	0.828 6**	-0.586 4**	0.864 6**

注: 相关系数临界值 $r_{0.05} = 0.432\ 9$, $r_{0.01} = 0.548\ 7$ 。

Note: Critical value for correlation coefficient, $r_{0.05} = 0.432\ 9$, $r_{0.01} = 0.548\ 7$.

表4 主茎数和产量性状二次多项式回归系数的显著性测验
Table 4 Test for significance of regression coefficient in quadratic polynomial

主茎数(X) vs. 产量性状(Y) Main stem vs. yield trait	一次项和二次项 Linear term and quadratic term	回归系数 Regression coefficient	标准回归系数 Standardized regression coefficient	偏相关 Partial correlation	<i>t</i>	<i>P</i>
主茎数 vs. 总产 Main stem vs. total yield	<i>X</i>	63.570 9	2.410 8	0.743 6	4.718 4	0.000 2
	<i>X</i> ²	-0.914 9	-1.668 4	-0.609 9	3.265 3	0.004 3
主茎数 vs. 总块茎数 Main stem vs. total tuber number	<i>X</i>	691.122 1	1.591 3	0.760 4	4.967 0	0.000 1
	<i>X</i> ²	-6.044 2	-0.669 2	-0.441 7	2.088 8	0.051 2
主茎数 vs. 平均块茎重 Main stem vs. mean tuber weight	<i>X</i>	-1.699 2	-1.277 1	-0.450 6	2.141 6	0.046 2
	<i>X</i> ²	0.013 2	0.476 4	0.185 0	0.798 9	0.434 8
主茎数 vs. 商品薯产量 Main stem vs. marketable tuber yield	<i>X</i>	42.788 5	2.627 5	0.614 8	3.306 8	0.003 9
	<i>X</i> ²	-0.780 0	-2.303 3	-0.564 1	2.898 7	0.009 6
主茎数 vs. 商品薯个数 Main stem vs. marketable tuber number	<i>X</i>	414.041 0	2.546 4	0.689 9	4.043 5	0.000 8
	<i>X</i> ²	-6.525 3	-1.929 7	-0.585 5	3.064 3	0.006 7

关系可用二次多项式 $Y_{\text{商品薯产量}} = 842.8446 + 42.7885X - 0.7800X^2$ ($R^2 = 0.4188$, $P = 0.0076$) 拟合, 当 X (主茎数) 在 27 时, $Y_{\text{商品薯产量}}$ 有极大值 1 430, 即: 当主茎数 = 27 个/ m^2 , 商品薯产量 = 1 430 kg/667 m^2 。就商品薯个数来说, 主茎数与主茎数的关系亦可用二次多项式 $Y_{\text{商品薯个数}} = 4445.7678 + 414.0410X - 6.5253X^2$ ($R^2 = 0.6349$, $P = 0.0001$) 来拟合, 当 X (主茎数) 在 32 时, $Y_{\text{商品薯个数}}$ 有极大值 11 014, 即: 当主茎数 = 32 个/ m^2 , 商品薯个数 = 11 014 个/667 m^2 。

3 讨 论

确定合适的种植密度是保证块茎产量和块茎商品性的重要措施。过去常采用单位面积播种的种薯(块)数来表示, 但生产上播种的种薯(块)大小, 以及种薯(块)的生理年龄可能会不同, 这就会导致计算播种量时产生混乱。相对于单位面积播种的种薯(块)数而言, 单位面积主茎数可以更准确的预测马铃薯产量, 部分原因是单位面积的主茎更能准确地预测单位面积所结的块茎数^[2,3,14-17]。种薯(块)产生的主茎数会依不同品种而不同, 而且也会随环境条件不同而有差异, 如种薯贮藏温度、土壤条件, 而适合的种植密度又会随不同的施肥量有所变化。因此, 本试验以马铃薯‘荷兰15号’为试验材料主要研究了单位面积的主茎数与块茎产量以及产量性状的关系。结果表明, ‘荷兰15号’单位面积的主茎数越多, 单位面积的总块茎数就越多, 但平均块茎重却越小, 这和 Iritani 等^[13]的研究结果一致。Van Burg^[18]的结果也表明, 增加每公顷主茎数会导致产量的增加。另外, Jarvis 和 Shotton^[19]也观察到了主茎数和产量的这种直接关系。但是, 主茎数和总产量的关系却不是直线的, 可用二次多项式加以描述。这是因为主茎数越多, 块茎数越多, 但平均块茎重却随之降低, 这样就会导致虽然块茎数增加, 但总产量却降低。前人关于主茎数与产量关系的报道并不一致, 有人报道随主茎数增加, 单位面积产量增加^[20-23], 有人报道主茎数对产量无显著影响^[24-26], 亦有人报道相反的结果^[27]。在解释试验结果时, 一定要注意研究者的试验材料和方法, 以及马铃薯生长的环境条件, 这样对理解

结论会有很大帮助。本试验结果亦表明, 主茎数和商品薯产量的关系也不是直线的。随着主茎数的增加, 块茎数增多, 但平均块茎重减小, 因此能够达到商品薯重(>75 g)的块茎数随之变少, 从而导致商品薯块茎数和块茎重变小。由于马铃薯的生长发育受环境影响很大, 因此有必要重复该试验。2014 年采用相同试验材料和试验设计进行了再次试验, 但由于 2014 年马铃薯晚疫病发生严重, 虽然采用了化学防控, 但效果并不理想, 在一定程度上影响了马铃薯的正常生长发育, 所以本文在数据分析时没有包括 2014 年的数据。为使该试验结论更加可靠, 将来有必要采用不同品种、不同地点、不同年份进一步进行试验。

[参 考 文 献]

- [1] Moorby J. The physiology of growth and tuber yield [M]//Harris P. The potato crop: the scientific basis for improvement. London: Chapman and Hall, 1978: 153-194.
- [2] Bleasdale J K A. Relationships between set characters and yield in maincrop potatoes [J]. Journal of Agricultural Science, 1965, 64: 361-366.
- [3] Allen E J, Wurr D C E. Plant density [M]//Harris P. The potato crop: the scientific basis for improvement. London: Chapman and Hall, 1992: 292-333.
- [4] Wurr D C E, Fellows J R, Akehurst J M, et al. The effect of cultural and environmental factors on potato seed tuber morphology and subsequent sprout and stem development [J]. Journal of Agricultural Science, 2001, 136: 55-63.
- [5] Reestman A J, de Wit C T. Yield and size distribution of potatoes as influenced by seed rate [J]. Netherlands Journal of Agricultural Science, 1959, 7: 257-268.
- [6] Gray D. Spacing and harvest date experiments with Maris Peer potatoes [J]. Journal of Agricultural Science, 1972, 79: 281-290.
- [7] Wurr D C E. Some effects of seed size and spacing on the yield and grading of two maincrop varieties. I. Final yield and its relationship to plant population [J]. Journal of Agricultural Science, 1974, 82: 37-45.
- [8] Allen E J. Plant density [M]//Harris P M. The potato crop—the scientific basis for improvement. London: Chapman and Hall, 1978: 278-326.

- [9] Goodwin P B, Brown A, Lennard J H, *et al.* Effect of centre of production, maturity and storage treatment of seed tubers on the growth of early potatoes. II. Field Growth [J]. *Journal of Agricultural Science*, 1969, 73: 167–176.
- [10] Holmes J C. Relationship between stem number and tuber number in the potato crop [C]. *Proc. 5th Triennial Conference, Eur. Assn for Potato Res*, Norwich, 1973.
- [11] Irritani W M, Thornton R, Wilier L, *et al.* Relationships of seed size, spacing and stem numbers to the yield of Russet Burbank [J]. *American Potato Journal*, 1972, 49: 463–469.
- [12] Lynch D R, Rowberry R G. Population density studies with Russet Burbank. I. Yield/stem density models [J]. *American Potato Journal*, 1977, 54: 43–56.
- [13] Irritani 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.
- [14] De la Morena I, Guillen A, Garcia del Moral L F. Yield development in potatoes as influenced by cultivar and the timing and level of nitrogen fertilization [J]. *American Potato Journal*, 1994, 71: 165–173.
- [15] Lynch D R, Kozub G C, Kawchuk L M. The relationship between yield, mainstem number, and tuber number in five maincrop and two early-maturing cultivars [J]. *American Journal of Potato Research*, 2001, 78: 83–90.
- [16] Wurr D C E, Fellows J R, Sutherland R A, *et al.* Determination of optimum tuber planting density for production of tubers in processing ware grades in potato variety Record [J]. *Journal of Agricultural Science*, 1990, 114: 11–18.
- [17] Zebarth B J, Arsenault W J, Sanderson J B. Effect of seedpiece spacing and nitrogen fertilization on tuber yield, yield components, and nitrogen use efficiency parameters of two potato cultivars [J]. *American Journal of Potato Research*, 2006, 83: 289–296.
- [18] Van Burg P F J. Relation of rate of nitrogen fertilization, seed spacing and seed size to yield of potatoes [J]. *Netherlands Nitrogen Technical Bulletin*, 1967, 4: 30.
- [19] Jarvis R H, Shotton F E. Population studies with Majestic potatoes in rows and in beds [J]. *Experimental Husbandry*, 1968, 16: 73–93.
- [20] Collins W B. Analysis of growth in Kennebec with emphasis on the relationship between stem number and yield [J]. *American Potato Journal*, 1977, 54: 33–40.
- [21] Rex B L. Effect of seed piece population on the yield and processing quality of Russet Burbank potatoes [J]. *American Potato Journal*, 1990, 67: 473–489.
- [22] Almekinders C J M. Flowering and true seed production in potato (*Solanum tuberosum* L.). 2. Effects of stem density and pruning of lateral stems [J]. *Potato Research*, 1991, 34: 379–388.
- [23] Love S L, Thompson-Johns A. Seed piece spacing influences yield, tuber size distribution, stem and tuber density, and net returns of three processing potato cultivars [J]. *HortScience*, 1999, 34(4): 629–633.
- [24] White R P, Munro D C, Sanderson J B. Nitrogen, potassium, and plant spacing effects on yield, tuber size, specific gravity, and tissue N, P and K of Netted Gem potatoes [J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1974, 54: 535–539.
- [25] White R P, Sanderson J B. Effect of planting date, nitrogen rate, and plant spacing on potatoes grown for processing in Prince Edward Island [J]. *American Potato Journal*, 1983, 60: 115–126.
- [26] Hammes P S. The effect of stem population on tuber yield in a trial with single-stem seed pieces [J]. *Potato Research*, 1985, 28: 119–121.
- [27] Sekhon H S, Singh M. Optimizing seed rate and stem density for seed potato production [J]. *Journal of Agricultural Science*, 1985, 105: 189–191.