

# 新型微生物菌肥对马铃薯品质的影响

刘拴成,穆俊祥,曹兴明,徐松鹤,白雪,高喜叶  
(集宁师范学院 生物系,内蒙古 乌兰察布 012000)

**摘要:**为了筛选适合内蒙古马铃薯高品质无公害生产的微生物菌肥浓度和种植密度的最佳组合,采用二因素三水平二次回归正交旋转组合设计,研究了菌肥浓度和种植密度对马铃薯品质的影响。结果表明,菌肥浓度为  $9.6 \times 10^7$  cfu·mL<sup>-1</sup>,种植密度为 52 020 株·hm<sup>-2</sup>时,淀粉含量达到最高为 15.44%。菌肥浓度  $9.5 \times 10^7$  cfu·mL<sup>-1</sup>,种植密度 52 020 株·hm<sup>-2</sup>时干物质含量达到最高为 21.43%。

**关键词:**菌肥;马铃薯;品质

**中图分类号:**S532.062 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2017)05-0050-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2017.05.0050

马铃薯不仅是内蒙古的主要粮食作物,还是优势的蔬菜作物之一。种植面积和总产量均排在全国前三位,占全国产量的 10% 以上<sup>[1]</sup>。目前,内蒙古地区每年的马铃薯种植面积都在不断扩大,现在已经稳定在 66.7 万 hm<sup>2</sup> 以上,而且鲜薯总产量稳定在 1 000 万 t<sup>[2]</sup>。由于种植的马铃薯面积不断扩大和人们对保护环境意识的不断增强,人们追求产量和品质的前提条件必须是不能破坏土壤结构,禁施含有有害物质的化学肥料。

微生物肥料是一种简单易行、产投比大、见效快的新型实用肥料,对马铃薯的产量和品质都有不同程度的影响。但是,此种产品种类较多,效果不完全相同,陈效杰<sup>[3]</sup>等和王慧中<sup>[4]</sup>等研究了马铃薯施用不同菌肥后对其各种生理指标和产量都有不同程度的影响,结果表明不同菌肥对其产量都有明显促进作用,商品薯率明显提高,产量增产幅度高达 33.70%~38.89%,商品薯率比对照提高约 13%。李寿如<sup>[5]</sup>等和方玉川<sup>[6]</sup>等研究表明施用微生物菌肥对马铃薯生物性状、生理性状、产量都有所提高。何志刚<sup>[7]</sup>等通过研究不同的促生菌肥对马铃薯产量和养分的吸收及其运转率的影响,结果显示施用菌肥后,不仅使马铃薯产量提高 10% 以上,而且对其氮素、磷素、钾素养分的吸收有明显促进作用,养分运转率与对照相比高出 14%

收稿日期:2017-03-21

基金项目:内蒙古自治区高等学校科学研究资助项目(NJZY 12249)

第一作者简介:刘拴成(1979-),男,内蒙古自治区四子王旗人,硕士,讲师,从事园艺教学与微生物促进植物生长研究。  
E-mail:lsc2009jntc@163.com。

**Abstract:** To realize water-saving high-yield maize cultivation, taking Xianyu 335 as test material, the use of drip irrigation under plastic film mode, set up different irrigation treatment schemes, effects of drip irrigation under membrane water treatment on soil physical properties and the yield of spring maize were studied. The results showed that (1) in 0 ~ 20 cm soil layer at seedling stage soil moisture content of irrigation water high treatment (W2) was highest, CK was lowest, the difference between treatments reached significant level. The different of soil moisture content in 20~40 cm soil layer at seedling stage was not significant, soil moisture content in jointing stage and tasseling stage had significant difference, irrigation on soil water content had a huge impact. (2) At jointing stage and heading stage, temperature had no significant difference among different treatments, but the temperature in 5 cm of high irrigation water treatment (W2) and low irrigation water treatment(W1) higher than that of CK treatment. No difference between the temperature of 10 cm and 15 cm. (3) At the jointing stage and heading stage, plant height of high irrigation water treatment(W2) was higher than other treatments, all was W2>W1>CK. But no obvious difference when filling stage, could be concluded that irrigation had an effect on the early stage of the maize plant height growth, late tend to be same, the difference was not obvious. (4) Yield reached significant difference among different treatments, yield of high irrigation water treatment (W2) was the highest, low irrigation water treatment (W1) was second, CK treatment was minimum. And water use efficiency of W1 was the highest, the order was W1>W2>CK.

**Keywords:** semi-arid regions; maize; drip irrigation under plastic film; yield

左右,肥料的利用率也有了明显提高。但是,研究某种生物菌肥浓度的大小和种植密度对马铃薯品质的影响研究较少,生产出的马铃薯很大一部分被深加工成各种产品,如各种薯片、薯条。而淀粉含量的高低直接影响此类产品的加工,淀粉有较长的分支结构,较高的支链淀粉含量,较好的黏弹性和高聚合度,较强的吸水膨胀力,糊化温度低。VC 是决定马铃薯品质的又一个重要指标,而 VC 又与干物质含量呈正相关<sup>[8-9]</sup>。因此,淀粉含量和干物质含量是选育加工型马铃薯品种的重要指标。为筛选出适合于本地区马铃薯高产优质无公害生产的最优组合条件,特开展本试验。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验小区土壤质地为黄壤土,全氮含量

为 $(1.5\pm0.2)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全磷含量为 $(0.2\pm0.1)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,缓效钾为 $(345.0\pm78.2)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,pH $(7.1\pm0.1)$ 、有机质含量为 $(9.1\pm0.5)\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,碱解氮含量为 $(133.2\pm3.2)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,有效磷含量为 $(23.2\pm1.6)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,缓效钾含量为 $(183.7\pm4.5)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 材料

供试材料为马铃薯品种克新 1 号;供试菌肥为微生物肥料,主要成分为活体枯草芽孢杆菌,内含植酸酶基因,具有解磷解钾作用。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 通过 DPS 软件进行 2 因素 3 水平二次回归正交旋转组合设计(见表 1),把菌肥浓度和种植密度作为自变量,分别建立以淀粉含量、干物质含量为目标函数的数学回归模型,并通过计算机模拟寻优,分别筛选出多个优化方案,然后得出最优组合下的最佳中心值。

表 1 2 个因子的水平取值及其编码值

Table 1 Level and code value of two factors

因素 Factors	上水平(+1) Upper level	下水平(-1) Lower level	零水平(0) zero level	变化区间 $\Delta_j$ Change interval	上星号臂 $\gamma=1.414$ Upper asterisk arm	下星号臂 $-\gamma=-1.414$ Lower asterisk arm
菌肥浓度/ $(\text{Cfu}\cdot\text{mL}^{-1})(x_1)$ Concentration of fertilizer	$1.6\times10^8$	$3.1\times10^7$	$9.6\times10^7$	$6.5\times10^7$	$1.9\times10^8$	$4.3\times10^6$
种植密度/ $(\text{株}\cdot\text{hm}^{-2})(x_2)$ Plant density	72030	32010	52020	20010	80310	23730

把试验区分成 16 个面积为  $9\text{ m}^2$  的小区。播种前将尿素、磷酸二氢铵、硫酸钾和羊粪按照曹兴明<sup>[10]</sup>等研究的最优化肥施肥方案组合(纯氮  $187.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$   $212.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $142.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,有机肥  $49\ 320\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )分别均匀地撒入事先划分好的小区内并进行翻耕,其中 50%的尿素需在马铃薯块茎膨大期和现蕾期分别追施一次尿素。然后按照设计方案先通过不同浓度的微生物菌肥对马铃薯块茎进行浸泡处理,然后播种,播种后按照当地推广的农业措施进行管理。

1.3.2 测试指标 马铃薯成熟后,按照不同小区分别收获,并立即测定其淀粉含量和干物质含量,淀粉含量采用苯酚硫酸法<sup>[11]</sup>、干物质含量采用烘干前后称重法进行测定。

2 结果与分析

2.1 试验因子对淀粉含量的效应分析

2.1.1 数学回归模型的建立 将实际测定的淀粉含量的数据(见表 2),通过 DPS 软件统计分析后,得出淀粉含量与试验因子的回归方程:

$$y=15.441\ 00+0.251\ 29x_1+0.516\ 40x_2-0.964\ 08x_2^2-1.990\ 33x_2^2-1.990\ 33x_1x_2$$

利用 DPS 软件进行统计分析和计算机模拟寻优。结果表明:当菌肥浓度和种植密度同时达到零水平时,淀粉含量达到最高,为 15.44%,并最终筛选出 7 个的优化方案(淀粉含量大于 13%)(见表 3)。通过表 3 可知,在 7 个优化方案中,当菌肥浓度和种植密度的编码水平都为 0 时,各个因素水平中出现的频率最高,分别为 42.86% 和 71.43%。

2.1.2 主效应分析 通过 2.1.1 中数学回归方程分析可知:一次项回归系数绝对值的大小顺序为: $0.516\ 40>0.251\ 29$ ,因此, $x_2$  效应 $>x_1$  效应。说明  $x_2$  对淀粉含量的影响最主要, $x_1$  的效应其次。

2.1.3 单因素效应分析 为进一步明确各因素与淀粉含量之间的关系,通过降维法将 2.1.1 中回归方程中任意一个因子固定在零水平上就能得到另外一个因子与淀粉含量的偏回归解析子模型:

表 2 编码的结构矩阵及对应的干物质含量、淀粉含量

Table 2 The structure matrix of code and corresponding data of dry matter content and starch content

No.	c1	c2	淀粉含量/%	干物质含量/%
			Starch content	Dry matter content
1	1	1	14.22	20.19
2	1	-1	13.62	19.58
3	-1	1	14.04	20.01
4	-1	-1	12.85	17.00
5	-1.4142	0	13.06	19.01
6	1.4142	0	12.50	18.43
7	0	-1.4142	10.55	16.47
8	0	1.4142	10.90	16.84
9	0	0	14.62	20.60
10	0	0	14.79	20.77
11	0	0	16.03	22.03
12	0	0	15.11	21.09
13	0	0	14.94	20.92
14	0	0	15.19	21.18
15	0	0	17.98	24.01
16	0	0	14.86	20.83

菌肥浓度： $y = 15.441\ 00 + 0.251\ 29x_1 - 0.964\ 08x_1^2$

种植密度： $y = 15.441\ 00 + 0.516\ 40x_2 - 1.990\ 33x_2^2$

把以上子模型在同一坐标做成函数图(见图1)。由图1可知,种植密度、菌肥浓度对淀粉含量的影响效应不完全相同,种植密度和菌肥浓度对淀粉含量的效应趋势大致一致,整体趋势为先升

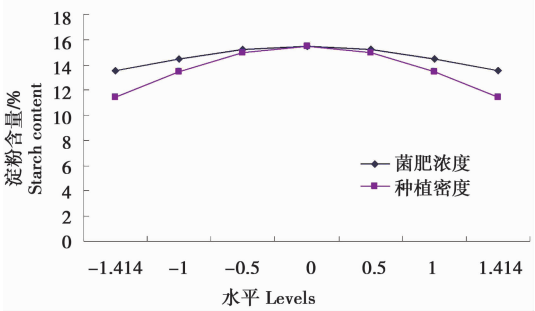


图 1 单因素对淀粉含量的影响

Fig.1 Effect of single factor on starch content

高后降低,而且当编码水平都为 0 时,淀粉含量都到达最高值为 15.44%。

表 3 7 个(淀粉含量大于 13%)方案中各个因素的出现频率和各个水平值的频率分布

Table 3 Frequency distribution and frequency of each factor in the 7 programs(the starch content was greater than 13%)

编码水平 Code level	$x_1$ (菌肥浓度) Concentration of fertilizer		$x_2$ (种植密度) Plant density	
	次数 Time	频率 Frequency	次数 Time	频率 Frequency
-1.414	1	0.1429	0	0
-1	1	0.1429	1	0.1429
0	3	0.4286	5	0.7143
1	1	0.1429	1	0.1429
1.414	1	0.1429	0	0
加权均数	0		0	
标准误	0.35		0.202	
95%的分布区间	-0.686~0.686		-0.396~0.396	
最佳用量	$5.1 \times 10^7 \sim 1.4 \times 10^8$		2940~3996	
中心措施值	$9.6 \times 10^7$		3468	

2.1.4 二因子互作效应分析 由图2分析可知,淀粉含量的大小与水平编码值的变化趋势有关,开始水平编码值增加,淀粉含量也在不断增加,后期随着水平编码值的增加,淀粉含量反而又慢慢降低。而且,如果把某一因子的编码水平固定在 0 时,另一因子的编码水平只有达到 0 时,淀粉含量才能达到最高。

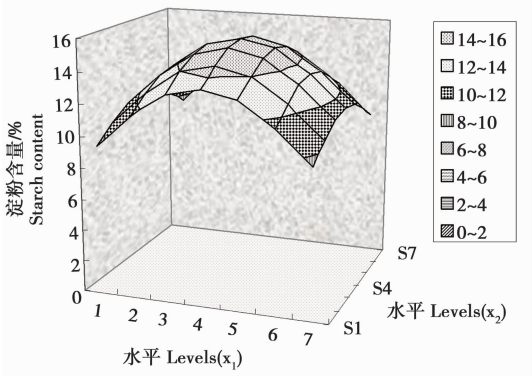


图 2 种植密度和菌肥浓度互相作用对淀粉含量的影响

Fig.2 Effect of interaction for microbial fertilizer concentration and plant density on starch content

2.2 试验因子对干物质含量的效应分析

2.2.1 数学回归模型的建立 将实际测定的干物质含量的数据(见表 2),利用 DPS 软件进行统计分析后,最后得出如下干物质含量与试验因子的数学回归模型

$$y=21.428\ 21+0.242\ 88x_1+0.518\ 62x_2-0.977\ 44x_1^2-2.010\ 52x_2^2-0.600\ 25x_1x_2$$

在  $\alpha=0.10$  显著水平下,去掉不显著项后的数学回归模型

$$y=21.428\ 21-0.977\ 44x^2-2.010\ 52x_2^2$$

利用 DPS 软件统计分析并进行计算机模拟寻优。结果表明,当菌肥浓度和种植密度同时达到零水平时,干物质含量达到最高,为 21.43%,并最终得出 11 个优化方案(干物质含量大于 18%)(见表 4)。通过表 4 可知,在 11 个优化方案中,当菌肥浓度和种植密度的编码水平都为 0 时,各个因素水平中出现的频率最高,分别为 27.27%和 45.45%。

表 4 11 个(干物质含量大于 18%)方案中各个因素的出现频率和各个水平值的频率分布

Table 4 Frequency distribution and frequency of each factor in the 11 programs(dry matter content was greater than 18%)

编码水平 Code level	$x_1$ (菌肥浓度) Concentration of fertilizer		$x_2$ (种植密度) Plant density	
	次数 Time	频率 Frequency	次数 Time	频率 Frequency
-1.414	1	0.0909	0	0
-1	3	0.2727	3	0.2727
0	3	0.2727	5	0.4545
1	3	0.2727	3	0.2727
1.414	1	0.0909	0	0
加权均数	0		0	
标准误	0.287		0.223	
95%的分布区间	-0.563~0.563		-0.436~0.436	
最佳用量	$5.9\times10^7\sim1.3\times10^8$		2886~4050	
中心措施值	$9.5\times10^7$		3468	

2.2.2 主效应分析 由 2.2.1 中数学回归模型可知,一次项回归系数绝对值的大小顺序为:  $0.518\ 62>0.242\ 88$ ,因此,  $x_2$  效应  $>x_1$  效应。说明  $x_2$  对干物质含量的影响起主要作用,  $x_1$  的效应次之。

2.2.3 单因素效应分析 为进一步明确各因素

与干物质含量之间的关系,通过降维法把 2.2.1 中数学回归模型中任意一个因子固定在零水平上就能得到另外一个因子与干物质含量的偏回归解析子模型:

菌肥浓度:  $y=21.428\ 21+0.242\ 88x_1-0.977\ 44x_1^2$

种植密度:  $y=21.428\ 21+0.518\ 62x_2-2.010\ 52x_2^2$

把以上子模型在同一坐标做成函数图(见图 3)。由图 3 可知,种植密度、菌肥浓度对马铃薯干物质含量的影响效果不完全相同,但整体趋势一致,都表现出先升高后降低的趋势,而且,当编码水平都为 0 时,干物质含量才能达到最高为 21.43%。

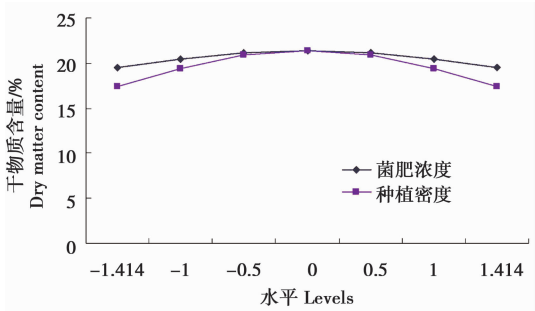


图 3 单因素对干物质含量的影响  
Fig. 3 Effect of single factor on dry matter content

2.2.4 二因子交互效应分析 由图 4 分析可知,干物质含量与水平编码值的变化有关,开始水平编码值在增加,干物质含量也在不断增加,但是,后期随着编码值的不断增加,干物质含量反而又慢慢降低。而且,如果把某一因子的编码水平固

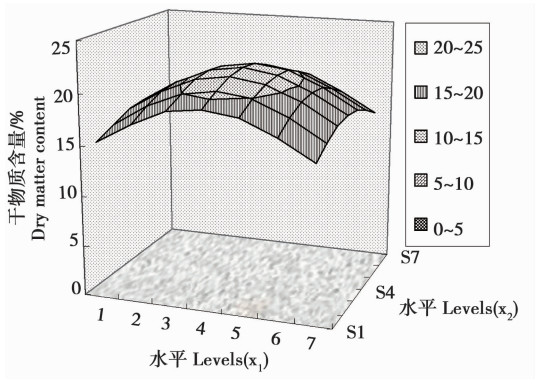


图 4 菌肥浓度和种植密度交互对马铃薯干物质含量的影响  
Fig. 4 Effect of interaction for microbial fertilizer concentration and planting density on dry matter content of potato

定在 0 时,另一因子的编码水平只有达到 0 时,干物质含量才能达到最高。

### 3 结论与讨论

通过菌肥和种植密度这两个自变量影响马铃薯淀粉含量、干物质含量的试验,总体效应为:自变量在一定变化范围内是因变量逐渐升高的,超出一定范围因变量反而会下降,当这两个自变量同时达到 0 水平时,因变量达到最高,从主效应来分析,对马铃薯淀粉含量、干物质含量影响效应最大的是种植密度,菌肥浓度次之,说明在今后种植马铃薯时,必须再最优的种植密度条件下合理配施生物菌肥,才能提高淀粉含量、干物质含量。

在当前施肥技术水平下,如果考虑经济效益,配施生物菌肥后,在一定程度上减少了化肥的用量,成产成本相应就会减少。但生物菌肥是在一定化肥施用量的基础上进行合理配施,如果施用量不当,反而会降低经济效益<sup>[12-14]</sup>。

通过以淀粉含量和干物质含量为目标函数建立数学回归模型,通过模型可以看出,种植密度和菌肥浓度对干物质和淀粉含量的影响效应以及效应的主次,还可以通过计算机模拟寻优,找到使淀粉含量和干物质含量达到最高值的最优组合。

经过计算机对其数学回归模型进行模拟寻优,关于干物质含量最终筛选出 11 个优化方案(干物质含量大于 18%),最佳用量为:菌肥浓度为  $5.9 \times 10^7 \sim 1.3 \times 10^8 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,种植密度为  $43\,290 \sim 60\,750 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。关于淀粉含量最终筛选出 7 个优化方案(淀粉含量大于 13%),最佳用量为:菌肥浓度为  $5.1 \times 10^7 \sim 1.4 \times 10^8 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,

种植密度为  $44\,100 \sim 59\,940 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

### 参考文献:

- [1] 李志平. 内蒙古马铃薯产业发展现状及制约因素分析[J]. 内蒙古农业科技, 2010(6): 7-9, 14.
- [2] 郭小军, 王晓燕, 白光哲, 等. 内蒙古地区马铃薯种植业发展现状及前景[J]. 中国马铃薯, 2011(2): 122-124.
- [3] 陈效杰, 丁俊杰, 邢立, 等. 脱毒马铃薯应用生物菌肥的效果[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(4): 224-225.
- [4] 王慧中, 赵培洁. 有机菌肥在马铃薯上的应用[J]. 江西农业学报, 2002, 14(1): 41-43.
- [5] 李寿如, 唐倩龙, 耿玉娟, 等. 微生物肥料在马铃薯上的应用研究[J]. 中国马铃薯, 2000, 14(2): 85-86.
- [6] 方玉川, 孙利军, 李建红, 等. 亚联微生物菌肥对马铃薯生长发育的影响[J]. 农业科技通讯, 2012(1): 39-41.
- [7] 何志刚, 王秀娟, 董环, 等. PGPR 菌肥对马铃薯产量与肥料利用率影响的初步研究[J]. 中国土壤与肥料, 2013(2): 100-103.
- [8] 童丹, 韩黎明, 原彩虹. 定西地区主栽马铃薯中还原糖和淀粉含量的比较研究[J]. 农产品加工, 2015(18): 56-58.
- [9] 王黎明. 马铃薯中粗淀粉含量的测定方法——旋光法[J]. 宁夏农林科技, 2010(6): 51.
- [10] 曹兴明, 穆俊祥, 张宏智, 等. 乌兰察布地区马铃薯优化施肥方案及函数模型建立[J]. 集宁师专学报, 2008, 30(4): 45-52.
- [11] 于鲁浩, 杨俊慧, 孟庆军, 等. 玉米粉中淀粉含量的快速测定方法[J]. 山东科学, 2012, 25(1): 19-23.
- [12] 李莉萍. 有机肥、无机肥与微肥配施对色素辣椒产量和品质的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2004.
- [13] 李成军. 不同肥料的组配施用对马铃薯产量的影响试验[J]. 中国马铃薯, 2002, 16(5): 294-296.
- [14] 沈宝云, 余斌, 王文, 等. 腐植酸铵、有机肥、微生物肥配施在克服甘肃干旱地区马铃薯连作障碍上的应用研究[J]. 中国土壤与肥料, 2011(2): 68-70.

## Effect of New Microbial Fertilizer on Quality of Potato

LIU Shuan-cheng, MU Jun-xiang, CAO Xing-ming, XU Song-he, BAI Xue, GAO Xi-ye

(Department of Biology, Jining Normal University, Ulanqab, Inner Mongolia 012000)

**Abstract:** In order to select the optimum combination of microbial fertilizer concentration and planting density that suitable for the high quality and unpolluted production of Mongolian potato, the effect of microbial fertilizer concentration and plant density on potato quality were studied through the design of rotating combination quadratic regression orthogonal of two factors and three levels in Jining district, Inner Mongolia. The results showed that the optimal starch content was 15.44%, with fertilizer concentration of  $9.6 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$  and planting density of  $52\,020 \text{ plants} \cdot \text{hm}^{-2}$ . The optimal content of dry matter was 21.43%, with fertilizer concentration of  $9.5 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$  and planting density  $52\,020 \text{ plants} \cdot \text{hm}^{-2}$ .

**Keywords:** microbial fertilizer; potato; quality