

徐 宁,许庆芬,张荣华,等. 黑龙江省马铃薯优质高产的最佳滴灌方式[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):126-128.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.01.034

黑龙江省马铃薯优质高产的最佳滴灌方式

徐 宁,许庆芬,张荣华,张洪亮

(黑龙江省农垦科学院经济作物研究所,黑龙江哈尔滨 150038)

摘要:开花期滴灌对马铃薯产量影响达到极显著水平,幼苗期和现蕾期滴灌对马铃薯产量影响达到显著水平;幼苗期和开花期滴灌对大薯率的互作效应达到显著水平;开花期滴灌对马铃薯淀粉含量影响达到显著水平。通过对有利于马铃薯产量、商品薯率、淀粉含量的最优灌溉值分析可知,幼苗期最优灌溉区间没有交互区间,最近值为 30 kPa;现蕾期的交互区间为 30.485~37.88 kPa;开花期的交互区间为 29.96~38.45 kPa。由此可以得出最有利于马铃薯生长的灌溉模式为:出苗期 30 kPa、现蕾期 30.485~37.88 kPa、开花期 29.96~38.45 kPa。

关键词:滴灌;马铃薯;负值;正交旋转;产量;商品薯率;淀粉含量

中图分类号: S275.4;S532.07 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)01-0126-03

马铃薯生育期内缺水是导致我国马铃薯产量低的主要原因。其中,开花期是马铃薯需水的关键期,这时缺水必然会使产量下降。王凤新等认为,马铃薯垄作更适合滴灌^[1];杨丽民等在滴灌试验中发现,在同等施肥条件下滴灌处理比不滴灌处理增产 27.68%^[2]。不同类型土壤的饱和含水率(无论是质量含水率还是容积含水率)都不一样,而土壤水张力却是一致的,均为 0;不同类型土壤的毛管破裂含水率也不相同,而土壤水张力却又几乎一样。可见,不同类型土壤从饱和含水率到毛管破裂含水率的范围间,土壤水分对作物影响是一致的。在同一个土壤水分张力下,不同种类土壤的含水率各不相同,但对作物的生理需水和根系吸收而言却是一致的^[3]。国外有许多研究者利用负压计来测量土壤水分值,并用来指导不同作物的灌溉方式^[4-7]。本试验通过土壤负值来衡量作物是否需水为标准,同时计算出适合马铃薯优质高产的滴灌模式。

1 材料与方法

1.1 参试品种及试验器材

品种:费乌瑞它;试验器材:滴灌设备各 1 套、水泵 1 台、负压计 23 支;试验原理:通过负压计测量土壤土水势,根据土水势的高低对不同处理进行滴灌,使其达到预期的土壤水分含量,通过试验结果计算出马铃薯整个生长期的最佳需水量。

1.2 试验设计

根据 2013 年试验设定幼苗期、现蕾期、开花期 3 个生育阶段,各时期土壤的张力分别以 35、35、40 kPa 作为基本值,变化间距为 15 kPa,共设置 3 个水平,进行 3 因素 5 水平的正

交回归旋转试验(表 1),共 23 个小区^[8-9]。

表 1 不同滴灌模式下的正交回归旋转试验设计

变量名称	变化区间 (kPa)	不同变量水平下的土壤张力(kPa)				
		-1.682	-1	0	1	1.682
x_1 :幼苗期	15	9.77	20	35	50	60.23
x_2 :现蕾期	15	9.77	20	35	50	60.23
x_3 :开花期	15	14.77	25	40	55	65.23

注: $r=1.682$ 。

试验区在黑龙江省哈尔滨市阿城区唐家村,试验设在标准 660 m² 大棚下,以防止自然降水对试验的影响,灌水方法为滴灌。小区为 5 行区,行长 4 m,株行距 25 cm×70 cm;种植密度为 5 7000 株/hm²,小区面积 14 m²,每个小区设间隔 PVC 挡板,防水分互渗,四周设 2 m 保护行,试验区面积为 660 m²。播种时先开沟施肥,180 kg/hm² 尿素、120 kg/hm² 磷酸二铵、375 kg/hm² 硫酸钾。灌水方式按试验设计的值为控制下限,当土层的土水势达到下限时进行灌溉,直至达到田块的最大持水量为止。土水势通过负压计测定,测定深度 20 cm,观测时间为隔日观察。

2 结果与分析

2.1 产量数学模型

马铃薯产量数学模型为 $Y=12\ 732.188\ 81-67.304\ 30X_1-86.926\ 26X_2-132.693\ 92X_3-187.196\ 26X_1^2-254.106\ 24X_2^2-277.347\ 08X_3^2-1.838\ 75X_1X_2-31.396\ 25X_1X_3-78.093\ 75X_2X_3$ 。

2.1.1 主效应分析 经过对回归模型进行方差分析可知,回归方程的失拟项没有达到显著水平($P_{失拟}=0.523\ 34>0.05$),表明回归方程中无失拟项存在,预测值与实际值拟合效果好。回归项达到极显著水平($P_{回归}=0.000\ 01<0.01$),说明试验设计合理,模型有效。回归模型本身已经经过无量刚性编码代换,其偏回归系数已经标准化,所以可直接从其绝对值的大小来判断各因子对目标函数的相对重要性。因此,3 因素对产量的影响从大到小依次是 $X_3>X_2>X_1$,为探讨各因

收稿日期:2014-12-30

基金项目:农村领域国家科技计划(编号:2012BA06B02-01C01)。

作者简介:徐 宁(1983—),男,黑龙江富锦人,硕士,助理研究员,从事马铃薯栽培与育种研究。Tel:(0451)55399312;E-mail:xuningxuningxuning@163.com。

通信作者:许庆芬,博士,副研究员,从事马铃薯栽培与育种研究。

Tel:(0451)55399377;E-mail:qingfenxu2002@163.com。

素对产量的影响程度,须要对单因子进行分析,其中 X_3 达到极显著水平($P_{X_3}=0.000\ 67<0.01$),说明开花期对马铃薯产量影响达到极显著水平; X_1 、 X_2 达到显著水平($P_{X_i}=0.042\ 42<$

0.05 ; $P_{X_3}=0.012\ 27<0.05$),说明幼苗期和现蕾期对马铃薯产量影响达到显著水平(表 2)。

表 2 马铃薯产量试验方差分析结果

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
X_1	61 863.760	1	61 863.757	5.061 98	0.042 42
X_2	103 193.600	1	103 193.570	8.443 77	0.012 27
X_3	240 465.500	1	240 465.460	19.675 99	0.000 67
X_1^2	535 356.700	1	535 356.660	43.805 34	0.000 02
X_2^2	1 000 476.000	1	1 000 475.900	81.863 53	0
X_3^2	1 195 786.000	1	1 195 785.800	97.844 68	0
X_1X_2	27.048	1	27.048	0.002 21	0.963 19
X_1X_3	7 885.796	1	7 885.796	0.645 25	0.436 26
X_2X_3	48 789.070	1	48 789.070	3.992 15	0.067 08
回归	3 230 412.000	9	358 934.690	$F_2=29.370$	0.000 01
剩余	158 876.400	13	12 221.265		
失拟	56 219.890	5	11 243.978	$F_1=0.876$	0.523 34
误差	102 656.600	8	12 832.070		
总和	3 389 291.000	22			

2.1 模型优化

为了寻求现实和可行的优化灌溉量,进行产量决策频数分析,在 95% 置信区间获得产量高于 12 305.47 kg/hm² 的 14 个方案,其分布频率见表 3, X_1 、 X_2 、 X_3 最优组合方案为 27.035 ~ 39.365、27.83 ~ 37.88、26.09 ~ 38.45 kPa。

表 3 马铃薯产量大于 12 305.47 kg/hm² 的 14 个方案中各个因子频率统计结果

因子	加权平均数	标准差	95% 的分布区间
X_1	-0.120	0.21	-0.531 ~ 0.291
X_2	-0.143	0.171	-0.478 ~ 0.192
X_3	-0.286	0.157	-0.594 ~ 0.023

2.2 大薯率数学模型

马铃薯大薯率的数学模型为 $Y=0.518\ 92+0.026\ 18X_1+0.014\ 75X_2-0.017\ 86X_3-0.099\ 10X_1^2+0.009\ 03X_2^2-0.070\ 34X_3^2+0.023\ 68X_1X_2-0.061\ 62X_1X_3-0.046\ 88X_2X_3$ 。

2.2.1 主效应分析 经过对回归模型进行方差分析可知,回归方程的失拟项没有达到显著水平($P_{失拟}=0.281\ 15>0.05$),表明回归方程中无失拟项存在,预测值与实际值拟合效果好。回归项达到极显著水平($P_{回归}=0.003\ 75<0.01$),说明试验设计合理,模型有效。回归模型本身已经经过无量纲性编码代换,其偏回归系数已经标准化,所以可直接从其绝对值的大小来判断各因子对目标函数的相对重要性。因此,3 因素对产量影响从大到小依次是 $X_1>X_3>X_2$,但 3 因素对大薯率影响均未达到显著水平(表 4)。

2.2.2 双因素大薯率互作效应分析 由表 4 可以看出, X_1X_3 的互作效应差异显著($P_{X_1X_3}=0.029\ 36<0.05$)。通过各项相互作用分析,用降维法将另外 1 个因素水平设为 0 水平,可以导出的解析子模型为: $Y_{13}=0.518\ 92+0.026\ 18X_1-0.017\ 86X_3-0.099\ 10X_1^2-0.070\ 34X_3^2-0.061\ 62X_1X_3$ 。

由模型(图 1)可以看出,当 X_1 和 X_3 的取值趋近于 35 kPa 时,大薯率达到峰值,当 2 个因素中一方趋高、一方趋低时,大薯率呈下降趋势,当 2 个因素同时趋高或同时趋低时也会出现下降趋势,但下降幅度小于上一种情况。

表 4 大薯率试验方差分析结果

源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
X_1	0.009 4	1	0.009 4	1.845 31	0.197 44
X_2	0.003 0	1	0.003 0	0.586 06	0.457 62
X_3	0.004 4	1	0.004 4	0.859 15	0.370 87
X_1^2	0.154 8	1	0.154 8	30.515 95	0.000 10
X_2^2	0.001 7	1	0.001 7	0.325 64	0.577 97
X_3^2	0.077 2	1	0.077 2	15.231 30	0.001 82
X_1X_2	0.004 5	1	0.004 5	0.884 56	0.364 10
X_1X_3	0.030 4	1	0.030 4	5.989 65	0.029 36
X_2X_3	0.017 6	1	0.017 6	3.467 01	0.085 36
回归	0.303 9	9	0.033 8	$F_2=6.659$	0.003 75
剩余	0.065 9	13	0.005 1		
失拟	0.031 0	5	0.006 2	$F_1=1.419$	0.281 15
误差	0.034 9	8	0.004 4		
总和	0.369 9	22			

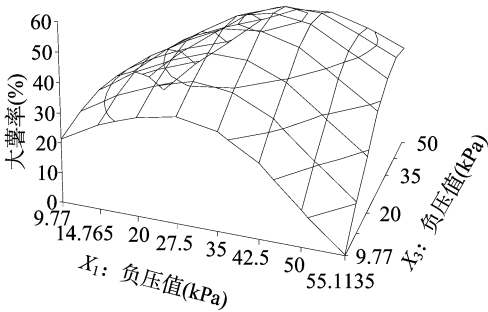


图 1 大薯率数学模型

2.2.3 模型优化 为了寻求现实和可行的最优灌溉量,进行产量决策频数分析,在 95% 置信区间内获得大薯率高于 42% 的 19 个方案,其分布频率见表 5, X_1 、 X_2 、 X_3 最优组合方案为 31.205 ~ 38.795、25.94 ~ 44.06、27.86 ~ 42.14 kPa。

表 5 大薯率大于 42% 的 19 个方案中各个因子分布频率统计结果

因子	加权平均数	标准差	95% 的分布区间
X_1	0	0.129	-0.253 ~ 0.253
X_2	0	0.308	-0.604 ~ 0.604
X_3	0	0.243	-0.476 ~ 0.476

2.3 淀粉含量数学模型

马铃薯淀粉含量的数学模型为 $Y = 8.99718 - 0.61998X_1 - 0.37453X_2 - 1.02019X_3 + 0.40636X_1^2 + 0.12156X_2^2 + 0.72187X_3^2 + 0.48382X_1X_2 - 0.14530X_1X_3 + 0.52992X_2X_3$ 。

2.3.1 主效应分析 经过对回归模型进行方差分析,回归方程的失拟项没有达到显著水平($P_{失拟} = 0.17816 > 0.05$),表明回归方程中无失拟项存在,预测值与实际值拟合效果好。回归项达到显著水平($P_{回归} = 0.03832 < 0.05$),说明试验设计合理,模型有效。回归模型本身已经经过无量刚性编码代换,其偏回归系数已经标准化,所以可直接从其绝对值的大小来判断各因子对目标函数的相对重要性。因此,3 因素对产量的影响从大到小依次是 $X_3 > X_1 > X_2$ 。为探讨各因素对产量的影响程度,须要对单因子进行分析,结果显示, X_3 达到极显著水平($P_{X_3} = 0.00466 < 0.01$),说明开花期滴灌对马铃薯淀粉含量有显著影响。

表 6 马铃薯淀粉含量数学模型方差分析结果

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
X_1	5.249 3	1	5.249 3	4.291 93	0.058 75
X_2	1.915 7	1	1.915 7	1.566 32	0.232 79
X_3	14.213 8	1	14.213 8	11.621 36	0.004 66
X_1^2	2.549 8	1	2.549 8	2.084 73	0.172 44
X_2^2	0.205 8	1	0.205 8	0.168 28	0.688 32
X_3^2	8.197 8	1	8.197 8	6.702 60	0.022 47
X_1X_2	1.872 7	1	1.872 7	1.531 14	0.237 83
X_1X_3	0.168 9	1	0.168 9	0.138 09	0.716 17
X_2X_3	2.246 6	1	2.246 6	1.836 82	0.198 41
回归	36.712 6	9	4.079 2	$F_2 = 3.335$	0.038 32
剩余	15.899 9	13	1.223 1		
失拟	8.459 9	5	1.692 0	$F_1 = 1.819$	0.178 16
误差	7.440 0	8	0.930 0		
总和	52.612 5	22			

2.3.2 模型优化 为了寻求现实和可行的优化灌溉量,进行产量决策频数分析,在 95% 置信区间内获得淀粉含量高于 9.74% 的 65 个方案,其分布频率见表 7, X_1 、 X_2 、 X_3 的最优组合方案为 21.875 ~ 30.305、30.485 ~ 39.515、26.215 ~ 35.215 kPa。

表 7 马铃薯淀粉含量大于 9.74% 的 65 个方案中各因子分布频率统计结果

因子	加权平均数	标准差	95% 的分布区间
X_1	-0.594	0.143	-0.875 ~ -0.313
X_2	0.000	0.153	-0.301 ~ 0.301
X_3	-0.619	0.153	-0.919 ~ -0.319

3 结论

3 因素对产量的影响从大到小依次是开花期 > 现蕾期 >

出苗期。为探讨各因素对产量的影响程度,须要对单因子进行分析,结果显示,开花期对马铃薯产量影响达到极显著水平;现蕾期和幼苗期对马铃薯产量影响达到显著水平。在 95% 置信区间内其最优组合方案为:幼苗期 27.035 ~ 39.365 kPa,现蕾期 27.83 ~ 37.88 kPa,开花期 26.09 ~ 38.45 kPa。

幼苗期和开花期对大薯率的互作效应达到显著水平,当幼苗期和开花期的取值趋近于 35 kPa 时,大薯率达到峰值,当 2 个因素中一方趋高、一方趋低时,马铃薯大薯率呈下降趋势;当 2 个因素同时趋高或趋低时也会出现下降的趋势,但下降幅度小于上一种情况。在 95% 置信区间内获得大薯率的最优组合方案为:幼苗期 31.205 ~ 38.795 kPa,现蕾期 25.94 ~ 44.06 kPa,开花期 27.86 ~ 42.14 kPa。

3 因素对淀粉含量的影响从大到小依次是开花期 > 出苗期 > 现蕾期。通过对单因子进行分析可知,开花期对马铃薯产量影响达到显著水平。在 95% 置信区间内,其最优组合方案: X_1 为 21.875 ~ 30.305 kPa, X_2 为 30.485 ~ 39.515 kPa, X_3 为 26.215 ~ 35.215 kPa。

通过对有利于马铃薯产量、商品薯率、淀粉含量的最优灌溉值分析可知,出苗期最优灌溉区间没有交互区间,最近值为 30 kPa,现蕾期的交互区间为 30.485 ~ 37.880 kPa,开花期的交互区间为 29.96 ~ 38.45 kPa。由此可以得出最利于马铃薯生长的灌溉模式为:出苗期 30 kPa、现蕾期 30.485 ~ 37.880 kPa、开花期 29.96 ~ 38.45 kPa。

参考文献:

[1] 王凤新,康跃虎,刘士平. 沟灌与滴灌马铃薯覆模效应研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(4):99-102.

[2] 杨丽民,陈晨,马文林,等. 半干旱地区马铃薯简易滴灌技术及钾肥施用效应研究[J]. 宁夏农林科技,2005(4):22-23.

[3] 李玉琪. 负压计测定土壤水分的应用分析[J]. 中国农村水利水电,1999(3):20-21.

[4] Clark G A,Albregts E E,Stanley C D,et al. Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated straw berry plants[J]. Transactions of the ASAE,1996,39(3):905-913.

[5] Shock C C,Feibert E B C,Saunders L D. Irrigation criteria for drip-irrigated onions[J]. HortScience,2000,35(1):63-66.

[6] Wilson C R,Pemberton B M,Ransom L M. The effect of irrigation strategies during tuber initiation on market able yield and development of common scab disease of potato in Russet Burbank in Tasmania[J]. Potato Research,2001,44:243-251.

[7] Shalhevet J,Shims H D,Meir T. Potato irrigation requirements in a hot climate using sprinkler and drip method[J]. Agronomy Journal,1983,75:13-16.

[8] 徐宁,许庆芬,张荣华,等. 黑龙江省马铃薯高产水分管理[J]. 中国马铃薯,2014,28(2):70-73.

[9] 张永成,田丰. 马铃薯试验研究方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007:60-67.