不同水肥配合对马铃薯产量的影响

刘　凡[1],李援农[1*],尹　娟[2,3]

(1.西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2.宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021;
3.旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 宁夏 银川 750021)

摘　要: 通过马铃薯膜下滴灌水肥耦合盆栽试验,以补水时期(X_1)、补灌定额(X_2)、施氮量(X_3)、施磷量(X_4)、施钾量(X_5)为试验因素,采用 5 因素 5 水平(1/2 实施)的二次旋转回归正交组合试验设计。研究了不同氮、磷、钾配施对马铃薯产量的影响,创建了马铃薯产量与补水时期、氮、磷、钾施用量和灌水量关系方程。结果表明:各因素的作用顺序为:$X_5 > X_4 > X_3 > X_2 > X_1$,各因子的交互项对马铃薯产量的影响顺序为 $X_4X_5 > X_3X_5 > X_2X_4 > X_2X_5 > X_2X_3$;在以产量为目标函数时,最高产量为 33.785 $t \cdot hm^{-2}$时,补水时期为苗期灌水总量为灌溉定额的 25%、现蕾期灌水总量为灌溉定额 25%、初花期灌水总量为灌溉定额的 50%;水肥耦合关系为灌溉定额为 822 $m^3 \cdot hm^{-2}$,施氮量、施磷量、施钾量分别为 73.5 $kg \cdot hm^{-2}$、224.4 $kg \cdot hm^{-2}$、223.8 $kg \cdot hm^{-2}$。

关键词: 马铃薯;补灌;氮、磷、钾肥;水肥耦合;二次旋转回归正交组合;产量

中图分类号: S532.071;S532.062　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1000-7601(2014)03-0108-06

Effect on different water and fertilizer coupling to yield of potato

LIU Fan[1], LI Yuan-nong[1], YIN Juan[2,3]

(1. *College of Water Resources and Architectural Engineering*, *Northwest A&F University*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100, *China*;
2. *College of Civil and Water Conservancy Engineering*, *Ningxia University*, *Yinchuan*, *Ningxia* 750021, *China*;
3. *Certer of Save Water Irrigation Engineering and Water Resource Control Technology Research of Ningxia*, *Yinchuan*, *Ningxia* 750021, *China*)

Abstract: Though the pot experiment of water and fertilizer coupling for potato by drip irrigation under film, taking the irrigation time (X_1), amount of irrigation (X_2), quantity of nitrogen (X_3), phosphate (X_4) and potassium (X_5) were for the test factors. Adopted the design of 5 factors and 5 levels quadratic regression by rotation-orthogonal combination to study the effects of different NPK fertilizer combinations to the yield of potato, has established the equations of potato yield with the irrigation time, quantity of the NPK fertilizer and amount of irrigation. The results indicated that: The function order for each factors was $X_5 > X_4 > X_3 > X_2 > X_1$, and the effect sequence for the potato yield by the interaction term as $X_4X_5 > X_3X_5 > X_2X_4 > X_2X_5 > X_2X_3$. When the yield as for the object function, the highest yield was 33.785 $t \cdot hm^{-2}$, the percentage of irrigation amount at seeding period, budding stage and initial boom stage to the whole irrigation quota was 25%, 25%, 50%, respectively. We suggest that whole irrigation quota was 822 $m^3 \cdot hm^{-2}$, the quantity of the N, P and K was 73.5 $kg \cdot hm^{-2}$, 224.4 $kg \cdot hm^{-2}$ and 223.8 $kg \cdot hm^{-2}$, repectively.

Keywords: potato; irrigation; NPK fertilizer; water and fertilizer coupling; quadratic regression by rotation-orthogonal combination; yield

马铃薯是世界第四大粮食作物[1]。中国是世界马铃薯生产第一大国。统计数据显示,2006 年,中国马铃薯种植面积超过 520 万 hm^2,面积和产量均占世界的 25%。中国马铃薯种植几乎遍及所有省(区),但主产区在西部干旱地区。地处西北部的宁夏回族自治区因其得天独厚的地理气候条件,成为中国马铃薯的最早种植地和传统主产区之一。本试验地区处于宁夏中部地区,水资源不足成为该地区农业发展的主要限制因素。因此,采用合理的水肥耦合是干旱半干旱地区节约用水,提高水分利用率,争取作物高产的重要途径。

国内外很多学者研究了灌水和施肥对马铃薯产

收稿日期: 2013-11-16
基金项目: 宁夏自然科学基金研究项目资助(NZ1157)
作者简介: 刘　凡(1989—),男,河南安阳人,硕士研究生,研究方向为节水灌溉理论与新技术。E-mail:liufan6168@163.com。
* **通信作者:** 李援农,教授,博士生导师,主要从事农业水土工程研究。E-mail:liyuannong@163.com。

量的影响[2-6],但对马铃薯产量的影响研究大多偏重于肥、水单独效应,而对水肥在供应量与供应时间上的不同配合研究还很少。因此,研究科学合理的水肥配合对于加强其光合作用,促进植株的生长,提高马铃薯的块茎产量十分必要[7]。

1　材料与方法

1.1　材料

供试马铃薯品种为冀张薯 8 号。以尿素、过磷酸钙、硫酸钾作为供试肥料。

1.2　试验设计

试验于 2012 年 5—9 月在宁夏回族自治区吴忠市同心县下马关镇五里墩村进行。该地区属于中温带半干旱大陆性气候,其主要特征是干旱少雨,蒸发量大,冷暖干湿,四季分明,日照长,太阳辐射强,夏秋短,冬春长。全县年平均降水量 272.6 mm,多年平均日照 3 024 h,无霜期 120~218 d,平均日较差为 31.2℃,适宜瓜果种植。大风、沙暴、干旱、热干风、霜冻、冰雹等灾害性天气出现频率高,对农业生产有很大影响。

采用 5 因素 5 水平二次正交回归旋转设计法(见表 1),试验为盆栽,36 个处理,设 3 个重复,共 108 盆。水分控制为膜下滴灌,采用移动式管道进行滴灌,在每个处理盆上安装一条旁壁式滴灌管,根据流量大小控制各管道的灌溉时间。氮磷肥一次性基施,钾肥 70%基施,30%追施。补水时期在苗期、现蕾期、初花期、盛花期按设计补灌定额的比例进行灌溉;补水时期 1 为 -2 水平(各生育期补灌比例为 50%、25%、25%、0%);补水时期 2 为 -1 水平(25%、50%、25%、0%);补水时期 3 为 0 水平(25%、25%、25%、25%);补水时期 4 为 1 水平(25%、25%、50%、0%);补水时期 5 为 2 水平(0%、50%、25%、25%)。表 2 为各试验的各处理水肥组合及试验结果。

表 1　试验因素水平编码表

Table 1　The level codes of the experimental factors

设计水平 Variable levels	X_1 补水时期 Replenishment water period	X_2 补灌定额 /($m^3 \cdot hm^{-2}$) Irrigation amount	X_3 施氮量/($kg \cdot hm^{-2}$) N fertilizer rate	X_4 施磷量/($kg \cdot hm^{-2}$) P fertilizer rate	X_5 施钾量/($kg \cdot hm^{-2}$) K fertilizer rate
-2	1	300	75	45	75
-1	2	600	150	90	150
0	3	900	225	135	225
1	4	1200	300	180	300
2	5	1500	375	225	375

表 2　试验方案及结果

Table 2　Test treatments and results

处理号 Code	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	产量/($t \cdot hm^{-2}$) Yield	处理号 Code	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	产量/($t \cdot hm^{-2}$) Yield
1	1	1	1	1	1	21.341	19	0	-2	0	0	0	14.005
2	1	1	1	-1	-1	17.117	20	0	2	0	0	0	11.893
3	1	1	-1	1	-1	12.671	21	0	0	-2	0	0	14.227
4	1	1	-1	-1	1	14.561	22	0	0	2	0	0	14.338
5	1	-1	1	1	-1	15.672	23	0	0	0	-2	0	13.449
6	1	-1	1	-1	1	14.561	24	0	0	0	2	0	15.228
7	1	-1	-1	1	1	20.674	25	0	0	0	0	-2	16.784
8	1	-1	-1	-1	-1	7.002	26	0	0	0	0	2	17.895
9	-1	1	1	1	-1	15.005	27	0	0	0	0	0	14.338
10	-1	1	1	-1	1	14.894	28	0	0	0	0	0	13.894
11	-1	1	-1	1	1	18.673	29	0	0	0	0	0	16.450
12	-1	1	-1	-1	-1	12.560	30	0	0	0	0	0	14.116
13	-1	-1	1	1	1	21.341	31	0	0	0	0	0	14.450
14	-1	-1	1	-1	-1	14.783	32	0	0	0	0	0	15.450
15	-1	-1	-1	1	-1	9.003	33	0	0	0	0	0	14.894
16	-1	-1	-1	-1	1	11.560	34	0	0	0	0	0	14.005
17	-2	0	0	0	0	18.451	35	0	0	0	0	0	16.006
18	2	0	0	0	0	12.893	36	0	0	0	0	0	15.894

1.3 测试指标与方法

马铃薯收获时,测各处理盆中的实际产量,测得盆栽产量按种植密度 33 345 株·hm^{-2}折合公顷产量。

1.4 数据分析

采用 DPS v7.05、Excel 2007 和 Matlab 2010 统计分析软件对数据进行分析。

2 结果分析

2.1 产量回归模型的建立与检验

由表 2 的结果进行二次多项式逐步回归分析,建立产量与补水时期、补水量,以及其与氮、磷、钾肥之间的回归模型,模型已剔除不显著项。

$$Y = 14.923 - 0.222X_1 + 0.333X_2 + 1.176X_3 + 1.287X_4 + 1.501X_5 + 0.211X_1^2 - 0.470X_2^2 + 0.628X_5^2 + 0.431X_1X_4 - 0.514X_2X_3 - 0.639X_2X_4 - 0.597X_2X_5 - 0.917X_3X_5 + 1.598X_4X_5 \quad (1)$$

F 检验得到模型的 $F = 4.296$($F_{0.01} = 3.07$),显著性检验达到显著水平($P = 0.001$);模型的决定系数 $R^2 = 0.89$,故模型能较好地反映试验各因子与产量之间的关系。模型其它因子为 0 时,产量与实测产量较为接近,说明模型能较好地反映实际产量。

2.2 主效应分析

回归模型本身已经过无量纲形编码代换,其偏回归系数已经标准化,故可以直接从其绝对值的大小来判断各因素对目标函数的相对重要性。偏回归系数的不显著项剔除后,由回归模型一次项系数大小可得各因素对产量影响顺序:$X_5 > X_4 > X_3 > X_2 > X_1$。由此可知,施钾量对马铃薯产量影响最大。从二次项系数大小分析知各因素对产量影响顺序:$X_5 > X_2 > X_1$。由回归系数和通径系数大小可得,各因子的交互项对马铃薯产量的影响顺序为 $X_4X_5 > X_3X_5 > X_2X_4 > X_2X_5 > X_2X_3$。

磷和钾的交互作用对产量的影响最大,补水量与施氮量交互作用影响最小。

2.3 各因子与马铃薯产量的关系

采用降维法进行单因子效应和交互效应分析,将其它因子固定在 0 水平,便可得出各因子与产量关系模型。当其它因子取 0 水平,可得到偏回归的数学子模型为:

补水时期:$Y = 14.923 - 0.222X_1 + 0.211X_1^2$ (2)

补水量:$Y = 14.923 + 0.333X_2 - 0.470X_2^2$ (3)

施氮量:$Y = 14.923 + 1.176X_3$ (4)

施磷量:$Y = 14.923 + 1.287X_4$ (5)

施钾量:$Y = 14.923 + 1.501X_5 + 0.628X_5^2$ (6)

图 1 分析知补水时期和施钾量对产量的影响为开口向上的抛物线,在低水平时,补水时期对产量的正效应比施钾量大,随着补水时期的改变,其对产量的影响呈现先增加后减小,之后再缓慢增长的趋势;施钾量对马铃薯产量的影响为,随着施钾量的不断增加,马铃薯的产量也在不断增长,其增长幅度相对较大。这是因为马铃薯是喜钾作物,钾肥有助于马铃薯植株的生长、块茎增大和淀粉积累。补水量对马铃薯产量的影响为开口向下的抛物线,在灌水较少时,灌水对马铃薯呈正效应,随着灌水量(超过 900 m^3·hm^{-2})的逐渐增加产量呈现缓慢的下降趋势。由此可知,灌水量的多少对产量影响较大。施氮量与施磷量对产量影响为正效应,斜率较小,对产量的增加影响不大。

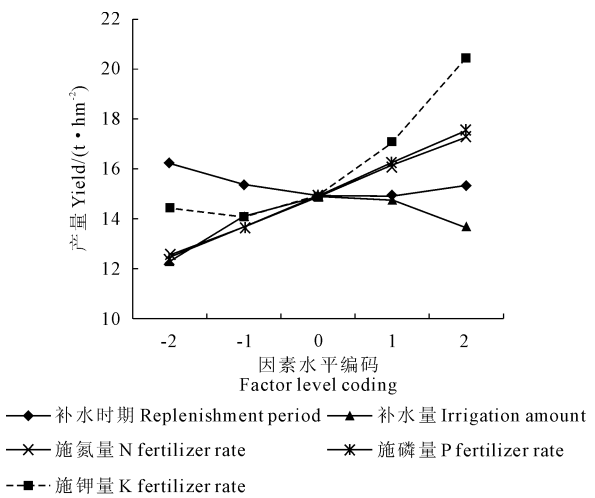

图 1 单因子对马铃薯产量的影响

Fig.1 Effect of single factor to potato yield

2.4 交互作用对马铃薯产量的影响

2.4.1 补水时期与施磷量的耦合效应 马铃薯的产量受影响的因素较为复杂,单一因子并不能对马铃薯产量做出全面合理的解释,应考虑交互效应对产量的影响。采用降维法,得到补水时期和施磷量交互作用见式(7):

$$Y = 14.923 - 0.222X_1 + 1.287X_4 + 0.211X_1^2 + 0.431X_1X_4 \quad (7)$$

由图 2 分析知,无论补水时期处于什么水平,随着施磷量的增加产量随之增加。当施磷量控制在低水平时,随着补水时期的变化马铃薯产量在逐渐减小,而当施磷量超过中间水平时,随着补水时期的变化产量在逐渐增加。施磷量处于低水平(45 kg·hm^{-2})与补水时期处于 2 水平时,产量最低为

11.025 t·hm^{-2};施磷量处于高水平与补水时期 2 的组合所得到的产量最高达到 19.621 t·hm^{-2}。

由上述可以得到,当施磷量低于中间水平时,随着补水时期编码值的变化,产量逐渐减少;在补水时期保持在某一水平时,施磷量的增加会起促进作物产量的增加。由此可知,施磷量的过量和不足都会阻碍马铃薯的生长发育,说明合理施用磷肥和采用不同补水时期对马铃薯产量的增产作用明显。

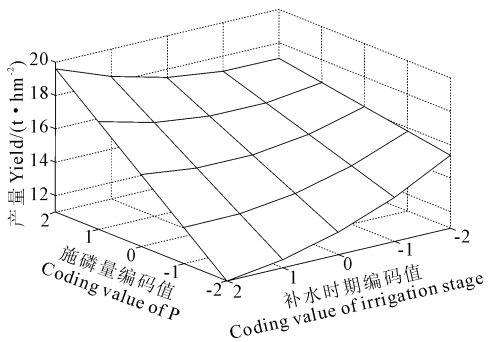

图 2　补水时期与施磷量的交互效应

Fig.2　Interaction effects between P and irrigation stage

2.4.2　*灌水量与施氮量、施磷量的耦合效应*　将其他因素固定在 0 水平,降维后分别得到灌水量与施氮量互作效应见式(8):

$$Y = 14.923 + 0.333X_2 + 1.176X_3 - 0.470X_2^2 - 0.514X_2X_3 \quad (8)$$

灌水量与施磷量关系见式(9):

$$Y = 14.923 + 0.333X_2 + 1.287X_4 - 0.470X_2^2 - 0.639X_2X_4 \quad (9)$$

由式(8)和式(9)分析知,两组交互效应具有相同的变化趋势。由表 3 和表 4 分析知:(1) 无论灌水量处于什么水平,随着施氮量(施磷量)的增加,马铃薯产量随之增加,灌水量与施氮量(施磷量)为正交互作用;施氮量(施磷量)的增加对产量的增幅效应显著,在灌水量处于低水平时,施氮量(施磷量)处于高水平和低水平的产量的极差为 8.816 t·hm^{-2}(10.26 t·hm^{-2})。(2) 无论施氮量(施磷量)处于什么水平时,随着灌水量的增加,产量呈现先增加后减少;表明施氮量(施磷量)与灌水量存在最佳配施值,过多和过少的灌水量都不利于马铃薯产量的增加。(3) 表中最高马铃薯产量的组合是施氮量 2 水平(375 kg·hm^{-2})和灌水量 -1 水平(600 m^3·hm^{-2}),最高产量为 17.5 t·hm^{-2};施磷量同施氮量的最佳水肥配合相同,最高产量为 17.972 t·hm^{-2}。

上述结果表明,灌水量较少时,氮磷肥施用能够增加产量;当灌溉水量超过 0 水平时,增施氮磷肥明显限制了产量的提高,说明灌水和氮磷肥具有明显的互补性。

表 3　灌水量与施氮量对马铃薯产量交互效应

Fig.3　Effects of the interactions between W and N on potato yield/(t·hm^{-2})

施氮量编码值 Coding value of N	灌水量编码值 Coding value of irrigation amount				
	-2	-1	0	1	2
-2	7.969	10.740	12.571	13.462	13.413
-1	10.173	12.430	13.747	14.124	13.561
0	12.377	14.120	14.923	14.786	13.709
1	14.581	15.810	16.099	15.448	13.857
2	16.785	17.500	17.275	16.110	14.005

表 4　灌水量与施磷量对马铃薯产量交互效应

Fig.4　Effects of the interactions between W and P on potato yield/(t·hm^{-2})

施磷量编码值 Coding value of P	灌水量编码值 Coding value of irrigation amount				
	-2	-1	0	1	2
-2	7.247	10.268	12.349	13.490	13.691
-1	9.812	12.194	13.636	14.138	13.700
0	12.377	14.120	14.923	14.786	13.709
1	14.942	16.046	16.210	15.434	13.718
2	17.507	17.972	17.497	16.082	13.727

2.4.3　*灌水量与施钾量的耦合效应*　采用“降维法”得灌水量(X_2)和施钾量(X_5)的交互作用关系见式(10):

$$Y = 14.923 + 0.333X_2 + 1.501X_5 - 0.470X_2^2 + 0.628X_5^2 - 0.597X_2X_5 \quad (10)$$

由图 3 分析知,当施钾量处于低水平时,产量随着灌水量增加而增加;当施钾量处于中高水平时,产量随着灌水量的增加呈现先增加后降低趋势。无论灌水量处于什么水平,马铃薯产量随着施钾量的增加而增加。灌水量和施钾量的交互作用,灌水量为 -1 水平(600 m^3·hm^{-2})和施钾量为 2 水平时(375 kg·hm^{-2}),产量达到最大值 20.766 t·hm^{-2}。产量最大,灌水量处于低水平,这可能是由于马铃薯全生育期灌水量已能够满足马铃薯生理生长的需要,过多的水分会影响田间小气候,甚至导致作物遭受病害。说明合理的控制灌溉定额和施肥对产量影响较大,当其中一方投入较低时,控制另一方投入,均能较大幅度提高产量。

2.4.4　*施氮量与施钾量的耦合效应*　采用“降维法”得到施氮量与施钾量间的交互效应方程见式(11):

$$Y = 14.923 + 1.176X_3 + 1.501X_5 + 0.628X_5^2 -$$

$$0.917X_3X_5 \quad (11)$$

根据方程代入编码值可得施氮量和施钾量对马铃薯产量的耦合效应值。由图 4 分析知,总体趋势为:当施氮量处于 1 水平以下时(300 kg·hm^{-2}以下),马铃薯的产量随着施钾量的增加而增加,而施氮量处于最高水平时,产量随着施钾量增加而减少;当施钾量处于 1 水平以下时(300 kg·hm^{-2}以下),产量变化的趋势随着施氮量的增加而增加,而施钾量处于最高水平时,产量随着施氮量增加而减少。从氮肥和钾肥正效应来说,偏回归系数大小也可以得出钾肥对产量的正效应偏大,钾肥对产量的增幅效应比氮肥强,随着钾肥的增加,各组合的产量中极差为 13.34 t·hm^{-2}。当施氮量处于低水平时和施钾量处于高水平时,两者组合下的马铃薯产量处于最高值 21.753 t·hm^{-2}。当施氮量和施钾量都处于最低水平时,产量最低。

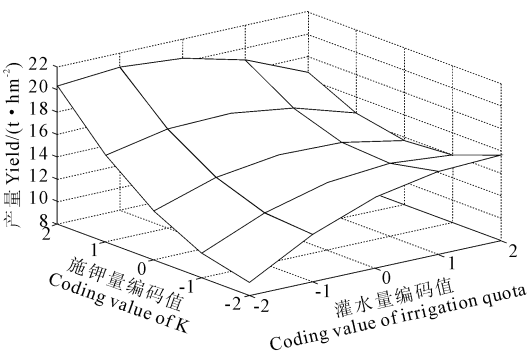

图 3 灌水量与施钾量的交互效应

Fig.3 Interaction effects between W and K

综上所述,在中高水平以内,氮肥和钾肥间表现出正交互作用,即协同效应。随着氮肥和钾肥用量增加,马铃薯产量增加明显。当氮、钾施量增加到中高水平时(375 kg·hm^{-2}),产量随之降低,对产量产生负效应。

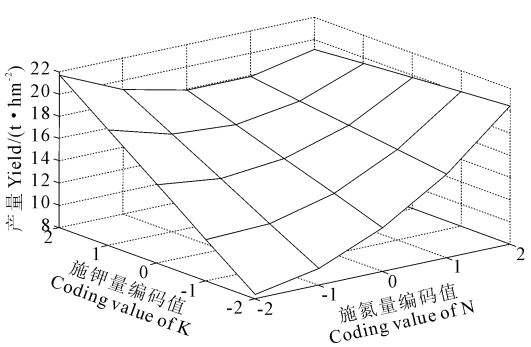

图 4 施氮量与施钾量的交互效应

Fig.4 Interaction effects between N and K

2.4.5 *施磷量与施钾量的耦合效应* 回归方程降维后,可得磷钾配合对产量影响的交互作用关系见式(12):

$$Y = 14.923 + 1.287X_4 + 1.501X_5 + 0.628X_5^2 + 1.598X_4X_5 \quad (12)$$

根据式(12)代入编码值可得施磷量和施钾量对马铃薯产量的耦合效应值。由表 5 和式(12)分析知,磷、钾两因素对产量的影响较大,各水平得到理论产量间的差异较大,产量的极差为 18.788 t·hm^{-2}。由表中值分析得,施磷量处于较低水平(-1 水平以下)时,产量随着施钾量的增加而降低,当施磷量高于 -1 水平时,产量随着施钾量的增加而增加。施钾量对产量影响趋势同施磷量。施钾量或施磷量处于较低水平时,单一肥料的增加对产量产生负效应,而钾肥和磷肥的同时增加,马铃薯产量增长较快,增产效果显著。这可能由于土壤中所含的磷、钾含量不能够满足马铃薯的生长,加大施肥量对马铃薯产量起促进作用。当施磷量和施钾量同处于 2 水平时,马铃薯的产量达到最大值 29.403 t·hm^{-2}。由以上所述,施磷量与施钾量的交互效应与其它因子交互作用相比对产量的影响较大。

表 5 施磷量与施钾量对马铃薯产量交互效应/(t·hm^{-2})

Table 5 The Interactions effects between P and K on potato yield

施钾量编码值 Coding value of K	施磷量编码值 Coding value of P				
	-2	-1	0	1	2
-2	18.251	14.458	11.921	10.640	10.615
-1	16.556	14.361	13.422	13.739	15.312
0	14.861	14.264	14.923	16.838	20.009
1	13.166	14.167	16.424	19.937	24.706
2	11.471	14.070	17.925	23.036	29.403

2.5 水肥配合的最优方案

经过寻优得到,在以产量为目标函数时,最高产量为 33.785 t·hm^{-2}时各处理的组合为:补水时期为苗期、现蕾期、初花期、盛花期,补水量分别占灌溉定额的 25%、25%、50%、0%。灌溉定额为 822 m^3·hm^{-2};施氮量、施磷量、施钾量分别为 73.5、224.4、223.8 kg·hm^{-2}。

3 讨论与结论

3.1 讨 论

水肥交互作用为水分与土壤中的养分之间的相互配合对作物的生长发育造成的影响。水肥的合理配合可以改善作物的生长环境条件,调节气孔开度和叶面积等,从而提高光合作用增加干物质的累积。根据两因素配合与单因素作用对增产效果的影响分为正、负交互效应。本试验采用二次回归正交旋转

设计经二次多项式逐步回归后,对产量的影响的单因子效应大小为 $X_5 > X_4 > X_3 > X_2 > X_1$。这与何华[8]和周洋[9]等的研究结果不完全一致,原因可能在于,一方面,供试作物及生育时期不同,对水肥需求关系不同;另一方面,不同地区的地力基础以及土壤和气候环境不同。

在干旱少雨、蒸发量大的地区,合理的灌溉制度的制定尤为重要。在作物的需水关键期补水,对于马铃薯来说在块茎形成膨大期补水[10-11],而在其它生育阶段受旱,改变光合产物在营养器官和生殖器官之间的分配比例,在产量增加的同时还能有效地改善作物的品质[12]。相关研究表明灌水定额越小,灌水周期对产量的影响就越大[13],干旱胁迫增加马铃薯串薯比例,影响马铃薯的产量[14];土壤表面土壤水势越低,马铃薯的块茎膨大率会迅速下降[15]。本试验表明,在供试条件下四个生育期灌溉定额的 25%、25%、50%,可使产量达到最高。

目前关于灌水量及氮、磷、钾肥用量因素对马铃薯产量的影响已有一些研究[16-17],但水肥之间的交互作用明确分析研究较少。本研究表明施氮、磷、钾对马铃薯产量为负交互作用。这可能由于试验地点和品种等因素的综合影响。

3.2　结　论

经过分析得出,由一次项系数大小可得各因素对产量影响顺序:$X_5 > X_4 > X_3 > X_2 > X_1$,因子的交互项对马铃薯产量的影响顺序为 $X_4X_5 > X_3X_5 > X_2X_4 > X_2X_5 > X_2X_3$。施磷量低于中间水平时,产量逐渐减少;随着补水时期、施钾量变化,产量呈现先增加后降低的趋势。灌水量较少时,产量随氮、磷、钾肥增加而增加,当灌溉水量超过中间水平时,产量随氮、磷、钾肥增加而减低。当施钾量处于中高水平时,产量随着灌水量的增加呈现先增加后降低趋势。

通过在以产量最大化为目标函数下,寻优得到最佳的因素组合水平:补水时期为苗期、现蕾期、初花期、盛花期四个生育期,补水量分别占灌溉定额的 25%、25%、50%、0%。灌溉定额为 822 $m^3 \cdot hm^{-2}$,施氮量、施磷量、施钾量分别为 73.5、224.4、223.8 $kg \cdot hm^{-2}$。无论从经济和环境角度来看,合理灌水和施肥,可以获得更多的效益,实现更有效率和更合理的土地利用率。

参 考 文 献:

[1] FAO. Production yearbook[M]. Rome,FAO,1995:243.

[2] 肖厚军,孙锐锋,何佳芳,等.不同水分条件对马铃薯耗水特性及产量的影响[J].贵州农业科学,2011,39(1):73-75.

[3] 张朝春,江荣风,张福锁,等.马铃薯氮、磷、钾肥料效应的研究[J].中国马铃薯,2004,18(6):326-329.

[4] Seyed H A, Mathias N A, Finn Plauborg, et al. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity[J]. Agricultural Water Management, 2010,97(11):1923-1930.

[5] 陈瑞英,蒙美莲,梁海强,等.不同水氮条件下马铃薯产量和氮肥利用特性的研究[J].中国农学通报,2012,28(3):196-201.

[6] 周　洋.氮磷钾配施对马铃薯产量及品质的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2011.

[7] 李成军.不同肥科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.

[8] 何　华,赵世伟,陈国良,等.不同水肥条件对马铃薯产量的影响[J].西北农业大学学报,1999,27(5):22-27.

[9] 周　洋,李　勇,王晶英,等.基于均匀设计研究氮、磷、钾肥对马铃薯产量的影响[J].中国马铃薯,2011,25(2):108-111.

[10] Jefferies R A, Mackerron D K L. Response of potato genotypes to drought. Ⅱ. Leaf area index, growth and yield[J]. Ann Appl Biol, 1993,122:105-112.

[11] Van Loon C D. The effect of water stress on potato growth, development and yield[J]. Am Potato J,1981,58:51-69.

[12] 郭相平,康绍忠.调亏灌溉-节水灌溉的新思路[J].西北水资源与水工程,1998,9(4):22-25.

[13] 江俊燕,汪有科.不同灌水量和灌水周期对滴灌马铃薯生长及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):121-125.

[14] 抗艳红,赵海超,龚学臣,等.不同生育期干旱胁迫对马铃薯产量及品质的影响[J].安徽农业科学,2010,38(30):16820-16822.

[15] 康跃虎,王凤新,刘士平,等.滴灌调控土壤水分对马铃薯生长的影响[J].农业工程学报,2004,20(2):66-72.

[16] 田　丰,张永成,张凤军,等.不同肥料和密度对马铃薯光合特性和产量的影响[J].西北农业学报,2010,19(6):95-98.

[17] 文玉能,顾昌萍,王　坤,等.氮、磷、钾肥不同施用量对马铃薯产量的影响[J].贵州农业科学,2008,36(1):116-117.