

# 氮磷及密度对高寒干旱区啤酒大麦产量的影响研究

孙炳玲

(甘肃省张掖市农业科学院, 甘肃 张掖 734000)

**摘要:** 采用二次回归通用旋转组合设计, 河西走廊高寒阴湿雨养农业区影响啤酒大麦产量形成的主要栽培因子氮肥、磷肥施用量及播种密度进行了综合研究, 建立了产量函数模型, 分析讨论了各因子对产量影响的单独效应及互作效应。得出影响啤酒大麦产量因子大小依次为播种密度、施磷量( $P_2O_5$ )、施氮量(N)。产量 $>4\ 500\ kg/hm^2$ 的农艺措施为施氮量(N)149.40~150.45  $kg/hm^2$ , 施磷量( $P_2O_5$ )110.70~117.90  $kg/hm^2$ , 播种密度 383.85 万~394.50 万粒/ $hm^2$ 。

**关键词:** 干旱农业; 啤酒大麦; 氮肥; 磷肥; 密度

**中图分类号:** S512.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2017)09-0052-04

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2017.09.017

啤酒大麦是重要的啤酒工业原料, 已成为河西沿山冷凉灌区种植业结构调整的优势作物之一<sup>[1-2]</sup>。为了充分挖掘啤酒大麦在该区的农业生产潜力, 提高栽培的有效性和预测性, 笔者根据系统工程最佳模拟配合法的原理, 应用二次回归通用旋转组合设计方法, 选择对啤酒大麦产量和品质有较大影响的主要栽培因子为决策变量, 以产量为目标函数建立模型<sup>[3]</sup>, 优选高产高效的组合方案, 并进行大面积的信息反馈验证示范, 以为河西沿山冷凉灌区啤酒大麦的高产、高效及规范化栽培提供理论依据<sup>[4-5]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

指示啤酒大麦品种为甘啤6号。供试肥料为硝酸铵(N 34%)、磷酸二铵(N 18%、 $P_2O_5$  46%)重过磷酸钙( $P_2O_5$  12%)。

### 1.2 试验方法

试验设在甘肃省张掖市民乐县南风乡卫庄村, 海拔 2 450 m, 属河西高寒阴湿雨养农业区的典型区域, 年平均气温 0.1  $^{\circ}C$ ,  $\geq 0\ ^{\circ}C$ 的积温 1 722  $^{\circ}C$ , 日照时数 2 600 h, 平均降水量 346~500 mm, 蒸发量 1 700 mm, 太阳辐射总量 502.08  $kJ/cm^2$ , 无霜期 78 d。试验地土壤为栗钙土, 耕层质地疏松, 含有机质 23.1~47.0  $g/kg$ 、全氮 1.40~2.66  $g/kg$ 、速效氮 119.0~158.6  $mg/kg$ 、速效磷 10.9~25.6  $mg/kg$ 、速效钾 180~250  $mg/kg$ 。试验采用三因素五水平二次通用旋转设计, 选择氮肥用量( $x_1$ )、磷肥用量( $x_2$ )和播种密度( $x_3$ )3 因子作为决策变量, 以产量为目标函数, 变量设计见表 1。试验随机排列, 小区面积 21  $m^2$ , 收获面积 15  $m^2$ , 区间走道 50 cm。于 3 月下旬用手锄开沟播种, 氮、磷肥料按设计一次施入做基肥, 其他田间管理同大田。7

收稿日期: 2017-04-06

作者简介: 孙炳玲(1962—), 女, 甘肃张掖人, 高级农艺师, 主要从事作物栽培研究工作。联系电话: (0)18093616221。E-mail: 741750890@qq.com。

$kg/hm^2$ , 比对照增产 65.3%; 全膜双垄沟侧播栽培模式居第 3 位, 为 2 548.40  $kg/hm^2$ , 比对照增产 57.2%。总的来看, 全膜等距微垄沟播栽培模式优于全膜覆土穴播栽培模式和全膜双垄沟侧播栽培模式, 推荐为大豆种植的最佳模式。

### 参考文献:

- [1] 环县年鉴编纂委员会. 环县年鉴[M]. 环县: 环县年鉴编纂委员会, 2006: 208-209.
- [2] 环县统计局. 环县统计年鉴[M]. 环县: 环县统计局, 2014: 84.

- [3] 甘肃省粮油作物栽培增产十大主推技术[J]. 甘肃农业, 2015(23): 47.
- [4] 范荣, 刘生瑞, 刘丰渊. 环县大豆全膜垄作膜侧栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2015(5): 44-45.
- [5] 刘生瑞, 陈彦锋. 环县耕地质量评价[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2015: 61.
- [6] 王珍. 环县玉米全膜双垄沟播技术推广中存在的问题和对策[J]. 甘肃农业科技, 2015(4): 52-54.

(本文责编: 杨杰)

表 1 因子水平编码

因子名称	变化间距 (kg/hm <sup>2</sup> )	因子水平编码				
		-1.682	-1	0	1	1.682
N(x <sub>1</sub> )	89.175	0	4.055	10.0	15.954	20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (x <sub>2</sub> )	66.750	0	3.040	7.5	11.960	15
播种密度(x <sub>3</sub> )	178.35	5	13.110	25.0	36.890	45

月 8 日收获，各小区单收计产。

## 2 结果与分析

### 2.1 模型的建立与检验

各处理的结构矩阵及产量结果见表 2。根据设计原理，用三因素二次回归通用旋转组合设计的结构矩阵，以 x<sub>1</sub>(N)、x<sub>2</sub>(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、x<sub>3</sub>(密度)为决策变量，大麦产量为目标函数，求得试验产量回归数学模型如下。

$$y=328.558-6.646x_1+32.285x_2+43.0x_3-0.055x_1x_2+10.503x_1x_3-27.725x_2x_3+27.125x_1^2-24.297x_2^2-19.276x_3^2\pm 39.1989 \quad (1)$$

对模型统计量的检验结果：

失拟均方  $F_1=0.6209 < F_{0.05}=5.05$ ，差异不显著，无失拟因素存在；回归均方  $F_2$  值为 4.98，均接近  $F_{0.01}$  (4.94)，达到显著水平；复相关系数  $R$  为 0.908 223 3，均大于  $R_{0.01}$  值(0.882 7)。表明设计因素对试验结果控制有效，而且 3 个因素与产量存在密切的关系，可进行有效的预测预报。试验随机误差估计取值  $\varepsilon=39.1989$ 。

### 2.2 模型的解析与优化

2.2.1 单因素效应分析 经无量纲线性编码代换后，偏回归系数( $b_1$ )已经标准化，故可直接从其绝对值的大小判断因子的重要程度，定量的描述某

一因子变动一个水平间距时对目标函数的影响大小。从回归模型可以看出，一次项和二次项系数绝对值均为  $x_3 > x_2 > x_1$ ，即播种密度 > 施磷量 > 施氮量，说明播种密度是影响大麦产量的主要栽培因子；施磷量和施氮量相对次之，但在降水好的年份对提高产量有较好的作用，不可忽视。

进一步采用降维法，分别将模型任意两个变量固定在零水平，便可得到关于  $y=f(x_i)$  的 3 个一元降维子模型：

$$y_1=328.558-6.647x_1-27.125x_1^2 \quad (2)$$

$$y_2=328.558+32.285x_2-24.2926x_2^2 \quad (3)$$

$$y_3=328.558+43.0x_3-19.276x_3^2 \quad (4)$$

根据以上 3 个降维方程模型绘制出各因素与产量的反映曲线(图 1)，图 1 显示的结果表明，在  $-y < x < y$  约束区间，3 个因子中影响产量的顺序为  $x_3 > x_2 > x_1$ ，但对产量作用的曲线都呈向下开口抛物线状，均有峰值，其顶点坐标即为获得最高产量时的施肥量(N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)或播量极值，不足或过量都会导致产量下降。

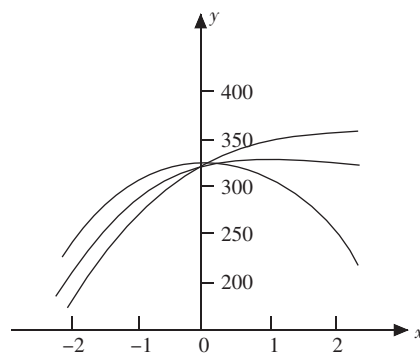


图 1 单因素函数曲线

表 2 试验结构矩阵及产量

处理	决策变量			产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	处理	决策变量			产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>			x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	
1	1	1	1	4 586.85	11	0	1.682	0	2 466.75
2	1	1	-1	3 733.50	12	0	-1.682	0	4 926.30
3	1	-1	1	4 700.40	13	0	0	1.682	2 800.20
4	1	-1	-1	2 306.70	14	0	0	-1.682	4 686.90
5	-1	1	1	4 633.50	15	0	0	0	4 333.50
6	-1	1	-1	4 533.60	16	0	0	0	5 600.25
7	-1	-1	1	4 866.90	17	0	0	0	5 733.60
8	-1	-1	-1	2 980.20	18	0	0	0	5 133.60
9	1.682	0	0	3 626.85	19	0	0	0	4 166.85
10	-1.682	0	0	3 433.50	20	0	0	0	2 466.75

其中 N 与产量的表达式为  $y_1=328.558-6.647x_1-27.125x_1^2$ , 增产趋势为  $y_1=6.647x_1-54.25x_1^2$ , 得出施氮量的最佳区间  $-0.1 \sim 0$  ( $135 \sim 150 \text{ kg/hm}^2$ ), 最优水平为  $-0.1225$  ( $139.05 \text{ kg/hm}^2$ ), 即在该试验条件下 N 肥施用量为  $139.05 \text{ kg/hm}^2$  时产量最高, 超过此限继续增大施氮量则产量呈下降趋势。

施磷量与产量的表达式为:  $y_2=328.558 + 32.285x_2-24.2926x_2^2$ , 增产趋势为  $y_2=32.2584x_2-48.585x_2^2$ , 得出施磷量最佳区间为  $0 \sim 1$  ( $112.5 \sim 179.4 \text{ kg/hm}^2$ ); 其最优水平为  $0.664$  ( $156.9 \text{ kg/hm}^2$ ), 即在本试验条件下, 磷肥用量为  $156.9 \text{ kg/hm}^2$  时产量最高, 超过此限如继续加大施磷量产量呈负增长。

播种量与产量的表达式为  $y_3=328.558+43.0x_3+19.276x_3^2$ , 增产趋势为  $y_3=43.0x_3+38.552x_3^2$ , 得出播种密度最佳区间为  $0.5 \sim 1.5$  ( $464.175 \text{ 万} \sim 614.175 \text{ 万粒/hm}^2$ ), 最优水平为  $1.1153$  ( $573.900 \text{ 万粒/hm}^2$ )。

为了便于比较各因素的合理取值范围, 计算出各因素在  $-r \leq x \leq r$  区间的边际产量, 根据表 3 可将各因子固定在零水平, 得出各因素在不同水平下的边际产量效应图(图2)。从图 2 可以得出, 磷素水平( $x_2$ )在  $-1.682 \sim 0.6644$ , 即  $0 \sim 156.45$

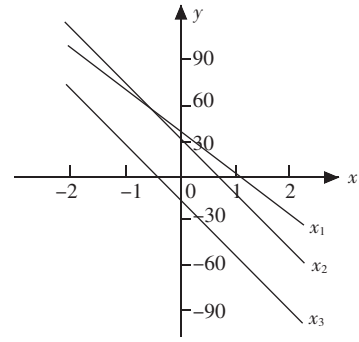


图 2 各因子边际效应

$\text{kg/hm}^2$  时, 每施  $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5$  可增产大麦  $12.78 \text{ kg}$ ; 在极值  $0.6644 \sim 1.682$  时, 施  $\text{P}_2\text{O}_5$  量 ( $156.45 \sim 225.0 \text{ kg/hm}^2$ ) 每增加  $1 \text{ kg}$ , 啤酒大麦减产  $5.54 \text{ kg}$ 。

播种量( $x_3$ ) 在  $-1.682 \sim 1.11539$  ( $121.65 \text{ 万} \sim 573.9 \text{ 万粒/hm}^2$ ) 时, 即播种量每增加  $1 \text{ 万粒}$ , 可增产大麦  $4.5 \text{ kg}$ ; 超过极值  $1.1153 \sim 1.682$  ( $573.9 \text{ 万} \sim 675.0 \text{ 万粒/hm}^2$ ) 时, 播量每增加  $1 \text{ 万粒}$ , 啤酒大麦减产  $0.9 \text{ kg}$ 。

2.2.2 交互效应分析 由于复因子试验中存在着因子间的交互效应, 因此, 在研究单因子效应的同时, 还必须对因子间的交互效应进行分析。通过分析得知, 以施磷( $x_2$ )与播种密度( $x_3$ )之间的交互效应最大(表4), 而  $x_1$  与  $x_2$  之间、 $x_1$  与  $x_3$  之间的交互效应较小。从表 4 看出, 磷肥与播种量对大麦产量的互作效应主要取决于播种量的增加, 但播量在零水平时, 增施磷肥增产显著; 而播量在零水平以上, 随着施磷量的增加, 产量呈下降趋势, 不同密度间产量差异不明显, 因而变异系数较小。可以得出啤酒大麦在最佳播量( $x_3$ )为

表 3 各因素在约束区间的边际产量水平

因素	水平				
	$-r$	$-1$	$0$	$1$	$r$
$x_1$	84.06	47.608	-6.6461	-60.89	-97.89
$x_2$	114.0	80.879	32.285	-16.3	-49.45
$x_3$	103.84	81.55	43.0	4.448	-21.844

表 4 施磷( $x_2$ )与播种密度( $x_3$ )之间的交互效应

因子水平	播种密度水平					$x$	$S_x$	$C_v(\%)$
	$-1.682$	$-1$	$0$	$1$	$1.682$			
$-1.682$	0.128	96.606	205.515	275.873	301.774	175.931	126.335	71.8
$-1$	98.482	181.975	271.976	323.425	336.401	242.452	100.796	41.5
0	201.698	266.282	238.558	352.282	346.35	299.034	64.212	21.4
$1$	256.32	301.996	336.547	332.546	307.705	307.022	32.092	10.4
$1.682$	265.701	298.481	314.123	291.214	253.478	284.599	24.667	8.6
$x$	164.484	229.068	291.344	315.068	309.127			
$S_x$	113.361	88.438	54.057	31.086	36.329			
$C_v(\%)$	68.8	38.6	18.5	9.8	11.7			

表 5 产量 >4 500 kg/hm<sup>2</sup> 的因子水平频率分布

变量	施氮量( $x_1$ )		施磷量( $x_2$ )		播种密度( $x_3$ )		
	次数	频率	次数	频率	次数	频率	
因子水平	-1.682	0	0	1	0.045	0	0
	-1	5	0.227	4	0.182	1	0.045
	0	11	0.5	8	0.364	6	0.273
	1	6	0.273	8	0.364	8	0.364
	1.682	0	0	1	0.045	7	0.318
合计	22	1	22	1	22	1	
$x_1$		0.045		0.182		0.853	
$Sx_i$		0.15		0.187		0.163	
95%置信域		-0.25 ~ 0.34		-0.18 ~ 0.55		0.53 ~ 1.17	
相应农艺措施		149.40 ~ 150.45		110.70 ~ 117.90		383.85万 ~ 394.50万	

573.9 万粒 /hm<sup>2</sup>、最佳施磷量( $x_2$ )为 112.5 kg/hm<sup>2</sup> 时,产量最高,可达 5 284.5 kg/hm<sup>2</sup>。

2.2.3 最佳农艺措施选优 以产量代码方程为基础,模拟寻优在  $-1.682 < x_1 < 1.682$  的约束条件下,各变量步长取 1,算得优化农艺措施方案 195 个,经筛选产量 >4 500 kg/hm<sup>2</sup> 的高产优化方案 40 个(表 5)。从表 5 看出,在河西高寒雨养农业区海拔 2 300 ~ 2 500 m 范围内,由于气温低、蒸发量小,加之播种至出苗时间较长,中后期干旱年份较多,啤酒大麦高产的关键措施在于合理密植、控制氮肥、增施磷肥<sup>[6-7]</sup>。在本试验条件下,产量 >4 500 kg/hm<sup>2</sup> 的最佳组合编码为  $x_1 = -0.25 \sim 0.34$ ,  $x_2 = -0.18 \sim 0.55$ ,  $x_3 = 0.53 \sim 1.17$ ,相应的农艺措施为施氮量(N)149.40 ~ 150.45 kg/hm<sup>2</sup>,施磷量(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)110.70 ~ 117.90 kg/hm<sup>2</sup>,播种密度 383.85 万 ~ 394.50 万粒 /hm<sup>2</sup>。

### 3 小结与讨论

研究表明,在河西高寒雨养旱作农业区,施氮量(N)、施磷量(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)和播种密度对啤酒大麦产量的影响从大到小依次为播种密度、施磷量(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、施氮量(N)。说明播种密度是影响该区域大麦产量的主要栽培因子,施磷量和施氮量相对次之。根据参试因子对产量的回归数学模型,得出在试验条件下啤酒大麦产量 >4 500 kg/hm<sup>2</sup> 的农艺措施为施氮量(N)149.40 ~ 150.45 kg/hm<sup>2</sup>,施磷量(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)110.70 ~ 117.90 kg/hm<sup>2</sup>,播种密度 383.85 万 ~ 394.50 万粒 /hm<sup>2</sup>。

从生产实践看,在高寒雨养旱作区啤酒大麦高产优质栽培的密度、施氮、施磷 3 项农艺措施中,播种量对产量的影响最大,是重点控制的栽培因子。因为当地无霜期较短,主茎成穗在啤酒大麦产量构成中所占份额较大,因此要以播种量为重点,同时适当增施磷肥、控制氮肥。

### 参考文献:

- [1] 张志恒,吕仲昱,张彦军,等.外源激素 6-BA 对啤酒大麦产量及品质的影响[J].甘肃农业科技,2015(10):24-26.
- [2] 徐银萍,潘永东,方彦杰,等.灌水量对啤酒大麦产量及品质的影响[J].甘肃农业科技,2014(11):16-18.
- [3] 刘铁梅,邹薇,孙东发,等.优质啤酒大麦华大 6 号综合栽培措施的数学模型及优化方案[J].麦类作物学报,2007,27(4):725-730.
- [4] 周彦芳,张秀华,刘强,等.河西砂壤土啤酒大麦不同密度和施肥措施对产量的影响[J].甘肃农业科技,2002(2):40-42.
- [5] 令志军,李天银,汤希君.甘肃河西地区啤酒大麦生产现状及前景展望[J].大麦与谷类科学,2005(4):3-6.
- [6] 赵向田,司二静,汪军成,等.播量和施肥对甘啤 6 号产量和品质的影响[J].麦类作物学报,2015,35(11):1603-1608.
- [7] 徐银萍,潘永东,包奇军,等.灌水与肥密配置对甘啤 7 号大麦产量和蛋白质的影响[J].中国土壤与肥料,2015(5):99-103.

(本文责编:陈伟)