

海门市油菜氮磷钾肥料效应研究 I: 施肥效应<sup>①</sup>顾黄辉<sup>1</sup>, 许福涛<sup>2</sup>, 陆金萍<sup>2</sup>

(1 江苏省海门市农业技术推广中心, 江苏海门 226100; 2 江苏省海门市土壤肥料技术指导站, 江苏海门 226100)

**摘要:** 2007—2009 年度在海门市进行了油菜 3414 肥料效应试验。结果表明: 海门市油菜产量与氮、磷、钾肥用量之间呈三元二次回归效应关系, 2007—2008 年度和 2008—2009 年度试验点综合肥料效应方程分别为:  $y_{2007-2008} = 98.220 + 4.876N - 0.231N^2 + 13.399P - 1.748P^2 + 6.346K - 0.621K^2 + 0.377NP + 0.126NK + 0.090PK$  和  $y_{2008-2009} = 110.352 + 7.636N - 0.311N^2 + 7.178P - 0.929P^2 + 3.923K - 0.550K^2 + 0.152NP + 0.175NK + 0.173PK$ 。平均每千克养分增产油菜籽分别为: N 5.36 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 7.78 kg, K<sub>2</sub>O 4.14 kg; N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3.74 kg, N+K<sub>2</sub>O 2.83 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O 2.18 kg, N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O 3.85 kg。

**关键词:** 油菜; 氮磷钾; 肥料效应; 海门

**中图分类号:** S14-33

实现施肥配方化和定量化是我国农业部测土配方施肥项目的最终目的<sup>[1]</sup>, 按项目的实施要求, 从 2007 年秋播开始在海门市进行了油菜 3414 肥料效应试验, 本文报道 2007—2008 年和 2008—2009 年两个年度的施肥效应的试验结果。

## 1 材料与方

### 1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤 试验在海门市代表性土壤潮土和盐土上进行, 各试验点土壤肥力状况见表 1

表 1 各试验点土壤肥力状况  
Table 1 Soil fertility in test points

年度	地点	有机质 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
2007—2008 年	三星太阳	15.2	4.5	82
	三厂兴虹	11.8	11.9	82
	麒麟双河	13.6	9	107
	悦来悦来	12.9	5.2	82
	海门中海	14.4	48.2	102
	三厂孝汉	10.5	9.2	37
	平均	13.1	14.7	82
2008—2009 年	三和三圩	13.5	22.1	68
	麒麟双河	10.7	6.9	74
	三厂大洪	10.7	11.8	97
	三厂兴虹	14.4	13.7	79
	悦来保卫	13.1	14	93
	悦来三其	12.9	14.2	68
	包场联合	14.1	18.9	187
	刘浩新群	14	12.8	68
	平均	12.9	14.3	91.8

1.1.2 供试作物品种 供试油菜品种为海门市重点推广的中晚熟品种, 2007—2008 年度为史力佳、秦油 10 号等中晚熟品种和华油杂 6 号、9 号、11 号等早中熟品种; 2008—2009 年度为史力佳和秦油 10 号。

1.1.3 供试肥料 氮肥为碳铵(含 N 17%)和尿素(含 N 46%), 磷肥为普钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%), 钾肥为氯化钾(含 K<sub>2</sub>O 60%)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验采用“3414”完全实施方案设计<sup>[1]</sup>, 设氮、磷、钾 3 因素 4 水平 14 个处理。4 水平即: 0 水平为不施肥; 2 水平为当地推荐施肥; 1 水平为 2 水平×0.5; 3 水平为 2 水平×1.5。氮、磷、钾 2 水平两个年度有所调整, 各处理试验代码及施肥量见表 2 和表 3。随机区组排列, 异地(点)重复。小区面积 33~66 m<sup>2</sup>, 长宽比(3~5):1, 小区间设有隔离沟, 试验区周边设保护行, 保护行离田边至少 2 m 以上。各承试点移栽密度为 5000~6500 株/667 m<sup>2</sup> 不等, 同一区组密度一致。

1.2.2 肥料运筹与施用方法 氮肥: 基肥占 50%; 腊肥占 20%, 于 12 月底至 1 月初施用; 苔肥占 30%, 在抽苔 10 cm 左右时施用; 磷、钾肥全部作基肥。基肥的施用先撒于播种沟再移栽油菜, 追肥以尿素溶于水浇施。在生产管理措施上, 试验田除试验处理外, 其他各项田间管理措施均统一, 确保试验结果不受病害、杂草和其他不良管理措施的影响。收获前进行田间性状考察, 分收实产。

①基金项目: 农业部测土配方施肥项目资助。

作者简介: 顾黄辉(1973—), 男, 江苏海门人, 高级农艺师, 主要从事农业技术与推广工作。E-mail: hmghh@163.com

表 2 3414 试验代码表

Table 2 Treatment codes of 3414 test

养分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	3	1	1	2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	2	2	0	1	2	3	2	2	2	2	1	2	1
K <sub>2</sub> O	0	2	2	2	2	2	2	0	1	3	2	2	1	1

表 3 各处理氮、磷、钾肥施用量 (纯养分量, kg/667m<sup>2</sup>)

Table 3 Fertilizer uses of N, P and K in each treatment

年度	养分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2007—2008 年	N	0	0	8	16	16	16	16	16	16	16	24	8	8	16
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	6	6	0	3	6	9	6	6	6	6	3	6	3
	K <sub>2</sub> O	0	8	8	8	8	8	8	8	0	4	12	8	8	4
2008—2009 年	N	0	0	6	12	12	12	12	12	12	12	12	18	6	6
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	5	5	0	2.5	5	7.5	5	5	5	5	2.5	5	2.5
	K <sub>2</sub> O	0	6	6	6	6	6	6	6	0	3	9	6	6	3

1.2.3 采样与测定方法 土壤样品采集：试验实施前在供试田块上按“S”型采样法（不少于 10 点混合）采集耕层土样（0~20 cm）1 份。测定项目包括：土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾等。植株样品采集：收获时分小区计秤茎干、角壳、籽粒潮重，及时取小样，晒干后计算小区茎干、角壳、籽粒干重实产，并从中取茎干、角壳、籽粒各 0.5 kg 左右样品进行全氮、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 检测。土样和植株样品检测方法详见

文献[2]。

## 2 结果与讨论

### 2.1 氮磷钾产量效应

根据试验结果，利用缺素区与全肥区产量比较，计算氮、磷、钾单位养分产量效应；利用施肥区与无肥区产量比较，计算氮磷、氮钾、磷钾、氮磷钾配施的产量效应，结果见表 4 和表 5。

表 4 2007—2009 年两年度产量 (kg/667m<sup>2</sup>)

Table 4 Rape yields from 2007 to 2009

年度	地点	处理													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2007—2008 年	三星太阳	58.5	136.2	169.6	82.0	156.5	195.6	184.9	165.8	184.8	191.8	181.1	156.6	170.9	148.0
	三厂兴虹	113.0	139.8	181.7	151.1	185.1	200.4	191.0	177.7	188.0	181.0	193.0	176.0	182.6	183.7
	麒麟双河	90.6	110.0	158.8	130.9	176.1	171.5	141.9	140.0	166.2	155.5	168.9	162.8	151.7	165.7
	悦来悦来	125.0	162.5	220.7	177.5	227.5	248.5	225.3	200.8	237.9	215.0	238.8	214.2	222.5	223.2
	海门中海	98.8	115.2	177.9	185.9	215.1	209.5	183.8	179.5	198.6	193.1	185.6	187.6	177.1	206.0
	三厂孝汉	104.0	125.5	174.5	136.9	182.0	202.5	178.8	164.5	194.9	188.9	190.6	163.9	170.8	176.7
	平均	98.3	131.5	180.5	144.1	190.4	204.7	184.3	171.4	195.1	187.6	193.0	176.9	179.3	183.9
2008—2009 年	三和三圩	138.9	150.9	205.4	206.0	217.5	227.8	219.7	202.5	213.5	210.0	229.2	198.0	201.0	218.0
	麒麟双河	123.7	138.5	167.6	138.0	168.0	183.0	185.1	158.3	172.0	175.0	180.0	153.4	161.0	160.1
	三厂大洪	83.3	154.4	182.3	190.2	212.8	224.0	209.8	197.0	213.0	216.0	215.0	189.0	191.0	207.0
	三厂兴虹	121.1	118.2	171.6	166.2	182.2	191.0	189.6	168.9	186.0	187.0	190.5	162.0	170.8	179.0
	悦来保卫	144.3	170.7	189.7	188.1	200.0	221.0	205.9	190.7	201.7	211.0	216.0	192.0	189.0	199.0
	悦来三其	98.7	115.1	165.0	168.0	187.0	201.0	190.0	173.0	189.0	196.1	195.0	162.0	163.0	182.0
	包场联合	86.8	95.5	153.0	176.5	198.0	203.0	194.0	188.0	201.0	198.0	202.6	158.0	158.5	195.0
	刘浩新群	85.8	117.9	168.0	158.0	171.0	181.8	178.0	156.0	176.0	178.0	178.0	163.0	165.0	168.0
平均	110.3	132.7	175.3	173.9	192.1	204.1	196.5	179.3	194.0	196.4	200.8	172.2	174.9	188.5	

表 5 单位养分油菜籽增产量

Table 5 Increased yields under per unit nutrient

年度	油菜籽产量 (kg/667m <sup>2</sup> )					单位养分增产量 (kg/kg)						
	处理 1	处理 2	处理 4	处理 6	处理 8	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
2007—2008 年	98.32	131.53	144.05	204.67	171.38	4.57	10.10	4.16	3.32	1.91	2.37	3.55
2008—2009 年	110.33	132.65	173.88	204.08	179.30	5.95	6.04	4.13	4.06	3.53	2.03	4.08
加权平均	105.179	132.171	161.093	204.329	175.907	5.36	7.78	4.14	3.74	2.83	2.18	3.85

从表 5 看出, 加权平均每千克养分增产油菜籽分别为: N 5.36 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (P) 7.78 kg, K<sub>2</sub>O (K) 4.14 kg, N + P<sub>2</sub>O (NP) 3.74 kg, N + K<sub>2</sub>O (NK) 2.83 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O (PK) 2.18 kg, N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O (NPK) 3.85 kg。从单养分增产情况看, 以磷的增产量最大, 其次是氮和钾。磷的增产效应分别是氮的 1.45 倍和钾的 1.88 倍, 氮的增产效应是钾的 1.29 倍。从氮、磷、钾配施结果看, 其增产效应是 NPK > NP > NK > PK。这与供试田块土壤养分水平和油菜对磷养分比较敏感等因素有关。虽然两个年度土壤有效磷平均含量基本接近, 2007—2008 年度 6 个试验点土壤有效磷平均含量为 14.7 mg/kg。但除海门中海村有效磷含量达 48.2 mg/kg

外, 其余各点在 4.5~11.9 mg/kg 之间, 平均为 8 mg/kg (全市平均 12.3 mg/kg), 处于偏低水平, 该范围内的有效磷含量占全市田块数的 68.5%; 而 2008—2009 年度土壤有效磷变幅较小, 为 6.9~22.1 mg/kg, 平均 14.3 mg/kg, 高于上年度 5 个点的平均值 8 mg/kg, 这造成了两年度磷单位养分油菜籽增产量上的差异。

## 2.2 氮磷钾缺素区相对产量与土壤肥力关系

将缺素区产量分别与全肥区产量进行比较, 计算相对产量 (%), 并将土壤肥力指标的有机质 (g/kg)、有效磷 (mg/kg)、速效钾 (mg/kg) 含量分别与无肥区及各缺素区相对产量 (%) 间进行相关分析, 结果见表 6。

表 6 两年度油菜缺素区相对产量及相关分析

Table 6 Yields and correlations in nutrient-deficient zone from 2007 to 2009

年度	地点	土壤肥力			绝对产量及相对产量									
		有机质 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	处理 6		处理 1		处理 2		处理 4		处理 8	
					产量 (kg/667m <sup>2</sup> )	产量 (kg/667m <sup>2</sup> )	%	产量 (kg/667m <sup>2</sup> )	%	产量 (kg/667m <sup>2</sup> )	%	产量 (kg/667m <sup>2</sup> )	%	
2007—	三星太阳	15.2	4.5	82	195.6	58.5	29.9	136.2	69.6	82	41.9	165.8	84.8	
2008	三厂兴虹	11.8	11.9	82	200.4	113	56.4	139.8	69.8	151.1	75.4	177.7	88.7	
年	麒麟双河	13.6	9	107	171.5	90.6	52.8	110	64.1	130.9	76.3	140	81.6	
	悦来悦来	12.9	5.2	82	248.5	125	50.3	162.5	65.4	177.5	71.4	200.8	80.8	
	海门中海	14.4	48.2	102	209.5	98.8	47.2	115.2	55	185.9	88.7	179.5	85.7	
	三厂孝汉	10.5	9.2	37	202.5	104	51.4	125.5	62	136.9	67.6	164.5	81.2	
	平均	13.1	14.7	82	204.7	98.3	48	131.5	64.3	144.1	70.4	171.4	83.7	
	<i>r</i> 值	与有机质含量			-	-0.705		-0.052		-0.243		0.165		
		与有效磷含量			-	0.085		-0.824*		0.664		0.364		
		与速效钾含量			-	-0.141		0.343		0.268		0.258		
2008—	三和三圩	13.5	22.1	68.0	227.8	138.9	61.0	150.9	66.2	206.0	90.4	202.5	88.9	
2009	麒麟双河	10.7	6.9	74.0	183.0	123.7	67.6	138.5	75.7	138.0	75.4	158.3	86.5	
年	三厂大洪	10.7	11.8	97.0	224.0	83.3	37.2	154.4	68.9	190.2	84.9	197.0	87.9	
	三厂兴虹	14.4	13.7	79.0	191.0	121.1	63.4	118.2	61.9	166.2	87.0	168.9	88.4	
	悦来保卫	13.1	14.0	93.0	221.0	144.3	65.3	170.7	77.2	188.1	85.1	190.7	86.3	
	悦来三其	12.9	14.2	68.0	201.0	98.7	49.1	115.1	57.3	168.0	83.6	173.0	86.1	
	包场联合	14.1	18.9	187.0	203.0	86.8	42.8	95.5	47.0	176.5	86.9	188.0	92.6	
	刘浩新群	14.0	12.8	68.0	181.8	85.8	47.2	117.9	64.9	158.0	86.9	156.0	85.8	
	平均	12.9	14.3	91.8	204.1	110.3	54.1	132.7	65.0	173.9	85.2	179.3	87.9	
	<i>r</i> 值	与有机质含量			-	0.058 9		-0.485 4		0.181 3		-0.040 5		
		与有效磷含量			-	0.132 3		-0.131 2		0.757 0		0.656 1		
		与速效钾含量			-	-0.364 7		-0.420 6		0.141 5		0.320 7		

从两年度试验平均相对产量趋势看，分别是无钾区>无磷区>无氮区>无肥区。说明施用氮肥的作用仍大于磷肥和钾肥。从各缺素区油菜籽相对产量与土壤肥力指标的相关分析发现，缺磷区相对产量与土壤有效磷含量的正相关性最明显 ( $r_{2007} = 0.664$ ,  $r_{2008} = 0.757$ )。经方程拟合，缺磷区相对产量与土壤有效磷含量的关系呈一元二次曲线分布 ( $y = -0.515x^2 + 3.331x + 47$ ,  $r = 0.673$ )。以同样的方法进行土壤速效钾与缺钾区相对产量 (%) 一元二次方程拟合，发现无氮区油菜相对产量与土壤速效钾之间的关系虽然在年度间并不一致，但无论哪一个处理，相对产量与土壤有机质含量的相关性并不密切。

无氮区产量与土壤中有效养分含量高低有关，其中 2007—2008 年度无氮区油菜产量与土壤有效磷呈显著的负相关性 ( $r = -0.824$ )，2008—2009 年度供试点土壤有效磷变幅较小 ( $r = -0.131$ )，说明油菜产量的高低不仅与施肥多少有关，更与土壤中养分是否平衡关系密切，在土壤有效磷相对较高的情况下无氮区再施

磷，养分的不平衡性加剧，反而导致产量的下降。

### 2.3 氮磷钾肥料效应关系

利用“3414”分析器对作物产量与氮、磷、钾用量拟合三元二次方程：

$$y = b_0 + b_1N + b_2N^2 + b_3P + b_4P^2 + b_5K + b_6K^2 + b_7NP + b_8NK + b_9PK。$$

回归方程进行显著性检验， $F_{0.05}(9, 13) = 6$  为显著， $F_{0.01}(9, 13) = 14.66$  为极显著，结果见表 7 ( $F$  值不显著的未列入)。从拟合方程看：不同试验点方程系数值与土壤养分含量具有很强的关联性；土壤有效磷含量较高田块施用氮肥比土壤磷较低的田块增产作用更加显著，而这时的施磷效应将下降，这与养分平衡互作原理相符；过量施磷对产量的负效应比过量施钾更加明显；联作效应的大小依次为  $NP > NK > PK$ ；从单位养分的增产效应看年度间不一致，2007—2008 年度是磷 > 钾 > 氮，而 2008—2009 年度是磷 > 氮 > 钾。这与年度间氮、磷、钾用量不仅一致有关。氮、磷、钾三因素、双因素、单因素间效应方程见表 7、表 8、表 9。

表 7 三元二次肥料效应方程汇总表

Table 7 Ternary quadratic equations of fertilizer response

年度	试验点 $n$	拟合方程	$r$ 值	$F$ 值
2007—2008 年	6	$y = 98.22 + 4.875 8N - 0.231N^2 + 13.399P - 1.748P^2 + 6.346 1K - 0.621K^2 + 0.377NP + 0.126 4NK + 0.090 3PK$	0.998	111.26
2008—2009 年	8	$y = 110.352 + 7.636N - 0.311N^2 + 7.178P - 0.929P^2 + 3.923K - 0.55K^2 + 0.152NP + 0.175NK + 0.173PK$	0.994	69.10

表 8 二元二次肥料效应方程汇总表

Table 8 Binary quadratic equations of fertilizer response

年度	养分	方程	$r$ 值	$F$ 值
2007—2008 年	NP	$y = 120.714 7 + 4.867 9N - 0.0207 9N^2 + 11.430 9P - 1.584 4P^2 + 0.439 6NP$	0.970	28.952 9
	NK	$y = 133.894 1 + 5.537 1N - 0.196 3N^2 + 3.687 0K - 0.481 9K^2 + 0.206 2NK$	0.952	9.552 3
	PK	$y = 122.946 + 18.001 2P - 1.653 7P^2 + 7.296 6K - 0.567 8K^2 + 0.142 9PK$	0.957	24.621 7
2008—2009 年	NP	$y = 118.975 + 8.139N - 0.297N^2 + 6.903P - 0.851P^2 + 0.208NP$	0.984	37.07
	NK	$y = 127.655 + 7.878N - 0.298N^2 + 3.749K - 0.498K^2 + 0.219NK$	0.985	43.15
	PK	$y = 155.644 + 9.482P - 0.966P^2 + 6.421K - 0.576K^2 + 0.15PK$	0.974	66.65

表 9 一元二次效应方程汇总表

Table 9 Unitary quadratic equations of fertilizer response

年度	试验点 $n$	养分	方程	平均 $r$ 值
2007—2008 年	6	N	$y = 130.987 + 8.294 2N - 0.236 98N^2$	0.996
		P	$y = 143.903 + 21.184P - 1.853 7P^2$	0.996
		K	$y = 170.752 + 9.102 5K - 0.637 5K^2$	0.979
2008—2009 年	8	N	$y = 131.744 + 9.631N - 0.319N^2$	0.988
		P	$y = 173.205 + 10.922P - 1.030P^2$	0.979
		K	$y = 178.647 + 7.647K - 0.623K^2$	0.973

### 3 结论

(1) 海门市氮、磷、钾养分对油菜产量的影响是氮>磷>钾, 施用氮肥的作用仍大于磷肥和钾肥; 单位养分增产以磷的增产量最大, 其次是氮和钾, 氮、磷、钾配施增产效应是 NPK>NP>NK>PK。

(2) 肥料联作效应依次为 NP>NK>PK, 2007—2008 年度增产效应是磷>钾>氮, 而 2008—2009 年度是磷>氮>钾。土壤有效磷含量较高田块施用氮肥比土壤磷较低的田块增产作用更加显著。在土壤有

效磷较高的情况下, 增施磷肥的增产效应大幅度下降。过量施磷对产量的负效应比过量施钾更加明显。

(3) 油菜产量与氮、磷、钾肥施用量之间呈三元二次回归效应关系。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国农业部. 测土配方施肥技术规范 (农农发 [2008] 5 号). 2008 年 3 月发布
- [2] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983

## N, P and K Fertilizer Response of Rape in Haimen I: Fertilizing Responses

GU Huang-hui<sup>1</sup>, XU Fu-tao<sup>2</sup>, LU Jin-ping<sup>2</sup>

(1 Haimen Agro-Tech Extension and Service Center, Haimen, Jiangsu 226100, China;

2 Haimen Soil Fertilizer Technology Guiding Station, Haimen, Jiangsu 226100, China)

**Abstract:** 3414 test results from 2007 to 2009 in Haimen of Jiangsu Province showed there were ternary quadratic regressions between rape yield and nitrogen, phosphorous and potassium use ratios, the regression equations of 2007 to 2008 and 2008 to 2009 were :  $y = 98.220 + 4.876N - 0.231N^2 + 13.399P - 1.748P^2 + 6.346K - 0.621K^2 + 0.377NP + 0.126NK + 0.090PK$  and  $y = 110.352 + 7.636N - 0.311N^2 + 7.178P - 0.929P^2 + 3.923K - 0.550K^2 + 0.152NP + 0.175NK + 0.173PK$ , respectively. Per kg nutrient increased rape yield by N 5.36 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 7.78 kg, K<sub>2</sub>O 4.14 kg; N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3.74 kg, N + K<sub>2</sub>O 2.83 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O 2.18 kg, N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O 3.85 kg, respectively.

**Key words:** Rape, NPK, Fertilizer response, Haimen