

密肥控对通优粳 1 号产量影响及高产技术优化

周根友, 夏 华, 陈启康* (江苏沿江地区农业科学研究所, 江苏如皋 226541)

摘要 [目的]研究密肥控对通优粳 1 号产量的影响, 优化高产栽培技术。[方法]研究采用 D-饱和和最优回归设计试验, 研究了通优粳 1 号在不同基本苗、施 N 量和多效唑化控条件下的生育期、群体茎蘖动态、叶面积、干物质积累、植株性状、穗粒结构和产量变化, 探明其高产技术农艺措施。[结果]密肥控三因素对产量影响程度从大到小依次为施 N 量、基本苗、多效唑施用量, 增加基本苗和施 N 量有利于增加茎蘖和成穗密度, 增加群体叶面积和干物质积累量。但基本苗和施 N 量过高, 能降低成穗率和经济系数, 延长生育期。适宜基本苗和施 N 量可协调茎蘖密度与成穗率之间的关系, 保持灌浆期有较高的叶面积和干物质积累, 提高产量。在基本苗为 55.2×10^4 个/hm²、施 N 量为 339.2 kg/hm²、多效唑用量为 97.9 g/hm² 时产量潜力最大, 为 12 606.0 kg/hm²。[结论]产量 > 11 250 kg/hm² 的最佳农艺措施为基本苗 $52.6 \times 10^4 \sim 60.1 \times 10^4$ 个/hm²、施 N 量 328.0 ~ 356.1 kg/hm²、多效唑用量 87.6 ~ 104.6 g/hm²。

关键词 通优粳 1 号; 基本苗; 施 N 量; 多效唑; 产量
中图分类号 S511.2+2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)23-0017-05

Effect of Density, Fertilizer and Chemical Control on Yield of Japonica Varieties Tongyoujing 1 and High-yield Technology Optimization

ZHOU Gen-you, XIA hua, CHEN Qi-kang* (Agricultural Institute of Riparian Region of Jiangsu Province, Rugao, Jiangsu 226541)

Abstract [Objective] To study the effect of density, fertilizer and chemical control on yield of japonica varieties Tongyoujing 1, and optimize the high-yield culture technique. [Method] Through the D-saturated optimum regression design tests, growth period, group tillers dynamics, leaf area, dry matter accumulation, plant traits, grain structure and yield of the japonica varieties Tongyoujing 1 was studied under the condition of different density, fertilizer levels and dosage of multi-effect azole to prove high-yield agricultural measures. [Result] The influence degree order of three factors: N application rate > basic seedling > multi-effect azole. Increase of basic seedlings and N fertilizer was beneficial to increase the seedlings number, panicles density, leaf area and dry matter accumulation. But the exceeded basic seedlings and N fertilizer were easy to reduce the earing rate and economic coefficient, to extend the growth period. The reasonable density-fertilizer combination can coordinate the relationship between the tillers density and earing rate, keep the leaf area and the dry matter accumulation higher in filling period, obtain higher yield. The maximum yield potential was 12 606.0 kg/hm² when the basic seedlings was 55.2×10^4 plants/hm², N application rate was 339.2 kg/hm² and dosage of multi-effect azole was 97.9 g/hm². The agricultural measures to obtain yield over 11 250 kg/hm² were that the basic seedlings was $52.6 \times 10^4 \sim 60.1 \times 10^4$ plants/hm², and N application rate was 328.0 ~ 356.1 kg/hm², and the dosage of multi-effect azole was 87.6 ~ 104.6 g/hm².

Key words Tongyoujing 1; Basic seedling; N application rate; Multi-effect azole; Yield

随着农村产业结构和种植业结构的调整, 耕地面积不会增加, 而人口急剧增多, 使国家粮食安全受到威胁。水稻是我国城乡居民消费的主食, 提高水稻产量是关系到我国粮食安全和农民增收的大事。而杂种优势利用是提高作物产量有效的途径之一, 有着巨大的增产潜力, 也是发展粮食生产的必然趋势。杂交水稻具有根系发达、光能利用率高、穗大粒多等特点, 一般可比常规稻增产 10% ~ 20%。发展杂交粳稻, 对我国水稻生产和稻米产业的发展, 促进农业增产、农民增收、粮食安全和社会稳定具有极其深远的现实意义。江苏省杂交粳稻发展空间巨大, 是未来粮食产量重要的增长点。

通优粳 1 号是江苏沿江地区农业科学研究所选育的优质高产杂交晚粳新品种, 2010—2011 年参加江苏省区试, 2 年平均产量 9 661.50 kg/hm², 较对照常优 1 号增产 11.3%; 2012 年生产试验平均产量 9 982.50 kg/hm², 较对照甬优 8 号增产 4.7%。2013 年 5 月通过江苏省品种审定委员会审定。该品种适应性好, 抗稻瘟病和条纹叶枯病, 耐纹枯病, 抗倒性强, 灌浆速度快, 产量高, 米质优, 米质理化指标达到国标二级优质稻谷标准, 通过示范种植, 深受群众的欢迎。为了加

快杂交粳稻推广应用, 笔者开展了通优粳 1 号产量潜力及高产技术优化研究, 探明不同基本苗、施 N 量和多效唑化控措施对通优粳 1 号群体发育和产量的影响, 以期为制定高产栽培技术措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种 供试品种为通优粳 1 号, 由江苏沿江地区农业科学研究所育成。

1.2 试验设计 试验采用 D-饱和和最优回归设计^[1], 设基本苗、纯 N 施用量、多效唑(纯有效成分)施用量这 3 个变量因子, 因子水平及线性编码见表 1。试验共 10 个处理, 记为 A₁ ~ A₁₀, 每处理各因子变量水平见表 2。采用随机区组排列, 重复 2 次, 共 20 个小区, 小区 10 m × 6 m。为防止各处理间 N 肥相互渗漏, 小区间做田埂并在埂的两侧深埋塑料膜覆埂相隔, 小区四周设保护行。各处理间 P、K 肥施用量和其他栽培措施均保持一致。

1.3 试验过程 试验于 2013 年在江苏沿江地区农业科学研究所试验田进行。供试土壤为砂壤土, 肥力中上等, 前茬作物为小麦。采用常规湿润育秧, 5 月 19 日播种(播前浸种 2 d 再催芽露白), 培育壮苗, 6 月 21 日移栽, 每处理各因子变量水平按设计要求严格进行。肥料运筹: 基肥和穗粒肥比为 6:4。化控方法: 7 月 20 日用 250 mg/kg 浓度多效唑叶面均匀喷雾, 不同处理水平通过调节喷液总量控制。其他田间管理同高产田块, 后期抓好稻飞虱的防治工作。

基金项目 江苏省农业三新工程项目“杂粳新品种通优粳 1 号制种技术与示范推广”(SXGC[2014]188)。

作者简介 周根友(1965—), 男, 江苏如皋人, 副研究员, 从事作物栽培与水稻育种研究。* 通讯作者, 研究员, 从事作物栽培与水稻育种研究。
收稿日期 2017-06-21

表1 因子水平及线性编码
Table 1 Factor level and linear codes

水平 Level	因子 Factors		
	基本苗 Basic seedlings 10 ⁴ 个/hm ²	施 N 量 N application rate//kg/hm ²	多效唑用量 Dosage of multi-effect azole//g/hm ²
零水平 Zero level	50	300	100
变化间距 Distance of change	20	100	50
编码值 Code value	-1.174	26.5	182.6
	-1	30.0	200.0
	-0.927	31.5	207.3
	-0.136	47.3	286.4
	0	50.0	300.0
	0.639	62.8	363.9
	1	70.0	400.0
	1.174	73.5	417.4
	1.291	75.8	429.1

1.4 测定项目 定点观测茎蘖动态,记载生育进程,主要生育期测定叶面积和干物质重,成熟期测定植株性状、穗粒结构,收割计实产。

表2 试验结构矩阵及产量结果

Table 2 Structural matrix of experiment and the result of yield

处理 Treatments	编码值 Code value			成穗数 No. of panicles 10 ⁴ /hm ²	每穗实粒数 No. of grain per panicle	千粒重 1 000-grain weight//g	产量 Yield kg/hm ²	位次 Precedence
	基本苗 Basic seedlings	施 N 量 N application rate	多效唑用量 Dosage of multi-effect azole					
A ₁	0	0	1.291	283.3	152.5	27.3	11 763.0 abAB	2
A ₂	0	0	-0.136	291.6	154.8	27.2	12 279.0 aA	1
A ₃	-1	-1	0.639	235.3	132.4	26.4	8 223.0 fD	10
A ₄	1	-1	0.639	276.5	130.5	26.2	94 30.5 deC	8
A ₅	-1	1	0.639	290.8	152.7	26.3	10 914.0 cB	6
A ₆	1	1	0.639	315.1	136.5	26.1	11 224.5 bcB	5
A ₇	1.174	0	-0.927	301.3	144.8	26.8	11 691.0 abAB	3
A ₈	-1.174	0	-0.927	236.5	153.6	26.7	9 699.0 dC	7
A ₉	0	1.174	-0.927	306.0	141.6	26.4	11 437.5 bcAB	4
A ₁₀	0	-1.174	-0.927	247.2	135.6	26.3	8 817.0 defCD	9

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著(P<0.05),同列数据后大写字母不同表示差异极显著(P<0.01)
Note:Different small letters within the same column mean significant differences(P<0.05),different capital letters within the same column show extremely significant differences(P<0.01)

2.2 不同处理茎蘖动态、全生育期和株高变化 由表3可知,各处理最高茎蘖数都出现在7月30日左右。相关分析表明,基本苗和施N量对通优粳1号茎蘖消长有较大影响,表现为最高茎蘖密度随着基本苗和施N量的增加而增加,其相关系数分别为0.852 8**、0.815 6**。施N量对生育期有较大影响,表现为全生育期随着施N量的增加而延长,其相关系数为0.991 2**。多效唑用量对株高有较大影响,表现为成熟期株高随着多效唑用量的增加而下降,其相关系数为-0.989 5**。施N量也对株高有明显影响,成熟期株高随着施N量的增加而增加,其相关系数为0.749 9*。另外,成穗率随着基本苗的增加而降低,其相关系数为-0.528 1。增加基本苗既能增加茎蘖密度,又能降低成穗率,可见适宜的基本苗可协调茎蘖密度与成穗率之间的关系,以增加成穗密度,提高产量^[4]。

2 结果与分析

2.1 不同处理产量及其构成因素 由表2可知,不同处理间产量差异达极显著水平。其中处理A₂产量最高,为12 279.0 kg/hm²,处理A₃产量最低,为8 223.0 kg/hm²。经相关分析,施N量对产量的影响较大,产量随着施N量的增加呈上升趋势,而基本苗的影响次之,多效唑用量的影响较小^[3],其相关系数分别为0.743 3*、0.493 0和0.045 1^[2]。从产量构成因素来看,成穗数对产量的影响较大,每穗实粒数的影响次之,而千粒重的影响较小^[3],其相关系数分别为0.825 4**、0.626 2和0.542 4。

从不同处理对产量构成因素的影响来看,基本苗和施N量对成穗数都有较大影响,成穗数随着基本苗和施N量的增加而增加,而多效唑用量的影响较小^[3],其相关系数分别为0.918 1**、0.936 4**和0.417 6。每穗实粒数的变化总体趋势是随着基本苗的增加而下降,随着施N量的增加而增加,相关系数分别为-0.433 9和0.491 8。而千粒重较为稳定,各因素对之影响较小。可见,通过适宜的基本苗和施N量增加成穗数,可有效提高通优粳1号产量。

2.3 不同处理叶面积变化 由表4可知,各处理高峰叶面积均出现在抽穗期。相关分析表明,施N量对群体叶面积影响较大,基本苗的影响次之,多效唑用量的影响较小,不同处理间群体叶面积总体变化趋势是随着基本苗和施N量的增加而增加。群体叶面积与基本苗和施N量之间的相关系数抽穗期分别为0.752 2*和0.831 6**,灌浆期分别为0.471 0和0.715 5*,成熟期分别为0.463 4和0.647 1*。而抽穗、灌浆和成熟期群体叶面积对产量形成有较大作用,其相关系数分别为0.940 0**、0.980 4**和0.976 2**。但在高密高肥条件下(处理A₆),通优粳1号群体过大,植株间相互隐蔽,通风透光条件差,下部叶片过早衰亡,可导致灌浆期群体叶面积锐减^[5]。可见,高密高肥有利于高峰叶面积的增加,而只有在适宜密肥条件下才能保持灌浆期有较高的叶面积。

表 3 不同处理茎蘖动态、全生育期和株高变化

Table 3 Developments dynamics of seedlings number, whole growth period and plant height of different treatments

处理 Treatments	不同时期茎蘖密度 Seedlings density at different period// ×10 ² /m ²					成穗率 Seed setting rate %	全生育期 Whole growth period// d	成熟期株高 Plant height of maturity// cm
	06 – 30	07 – 10	07 – 20	07 – 30	08 – 10			
A ₁	0.89	1.49	2.24	3.38	3.14	83.9	162	102.2
A ₂	0.95	1.53	2.37	3.45	3.20	84.6	161	109.5
A ₃	0.63	1.17	1.94	2.81	2.48	83.6	158	105.8
A ₄	0.96	1.32	2.22	3.75	2.95	73.8	158	106.5
A ₅	0.71	1.76	2.28	3.86	3.22	75.3	165	106.9
A ₆	1.02	1.88	2.60	4.35	3.44	72.4	165	107.7
A ₇	1.04	1.82	2.52	3.90	3.36	77.2	161	113.1
A ₈	0.62	1.14	1.91	2.76	2.59	85.8	161	113.6
A ₉	0.99	1.85	2.54	4.10	3.40	74.6	166	114.6
A ₁₀	0.92	1.23	2.16	3.47	2.75	71.2	158	112.2

表 4 不同处理群体叶面积动态

Table 4 Developments dynamics of leaf area of different treatments

m²/hm²

处理 Treatments	栽插后 20 d(07 – 10) 20 d after transplanting (07 – 10)	栽插后 40 d(07 – 30) 40 d after transplanting (07 – 30)	抽穗期(08 – 30) Heading stage (08 – 30)	灌浆期(09 – 30) Filling stage (09 – 30)	成熟期(10 – 30) Maturing date (10 – 30)
A ₁	6 537.6	41 346.5	69 385.3	52 091.6	21 687.5
A ₂	6 682.4	42 008.6	71 056.6	53 477.3	23 114.8
A ₃	4 278.5	22 394.5	40 106.5	36 297.6	14 926.0
A ₄	5 892.7	32 457.5	57 008.7	40 124.7	15 936.7
A ₅	6 447.8	39 428.7	70 086.5	46 547.7	18 687.9
A ₆	8 149.4	52 142.6	75 463.4	49 946.8	19 875.6
A ₇	7 865.8	49 921.8	71 489.2	49 962.4	21 964.7
A ₈	5 648.6	35 346.1	57 191.7	42 148.4	16 349.8
A ₉	7 964.5	50 498.2	73 586.8	48 118.7	21 086.4
A ₁₀	4 865.3	26 925.3	48 534.6	38 423.5	15 493.5

2.4 不同处理干物质积累量与经济系数 由表 5 可知,抽穗灌浆期干物质积累是形成产量的重要来源,相关分析表明,抽穗期、成熟期以及抽穗期—成熟期间的干物质积累量与产量之间呈极显著正相关,其相关系数分别为 0.953 7**、0.967 6** 和 0.990 3**。

从不同处理对群体干物质积累的影响来看,同一生育期不同处理间群体干物质积累量随着基本苗和施 N 量的增加呈上升趋势,经济系数随着基本苗和施 N 量的增加呈下降趋势,而多效唑用量对群体干物质积累量和经济系数的影响都较小。干物质积累量与基本苗和施 N 量之间的相关系数抽穗期分别为 0.700 6* 和 0.908 9** ,成熟期分别为 0.684 1* 和 0.893 9** ,抽穗期—成熟期分别为 0.590 6 和 0.832 7** 。经济系数与基本苗和施 N 量之间的相关系数分别为 -0.963 8* 和 -0.993 7** 。可见,增加基本苗和施 N 量有利于提高群体干物质积累,却不利于提高经济系数,而适宜的基本苗和施 N 量有利于灌浆期干物质积累,提高产量^[6]。

表 5 不同处理干物质积累动态

Table 5 Developments dynamics of dry matters accumulation of different treatments

处理 Treatments	栽插后 20 d(07 – 10) 20 d after transplanting (07 – 10) // kg/hm ²	栽插后 45 d(08 – 05) 45 d after transplanting (08 – 05) // kg/hm ²	抽穗期(08 – 30) Heading stage (08 – 30) // kg/hm ²	成熟期(10 – 30) Maturing date (10 – 30) // kg/hm ²	抽穗—成熟 Heading to mature // kg/hm ²	经济系数 Economic coefficient
A ₁	708.46	4 265.46	12 764.37	21 005.36	7 788.64	0.56
A ₂	716.14	4 595.86	13 546.52	21 542.11	8 097.23	0.57
A ₃	398.58	2 668.72	7 743.46	13 480.33	4 903.03	0.61
A ₄	554.66	3 787.69	9 698.75	16 259.48	5 929.79	0.58
A ₅	634.75	4 632.87	12 667.85	20 211.11	7 298.68	0.54
A ₆	768.67	4 862.43	13 958.74	22 008.82	7 779.31	0.51
A ₇	743.94	4 322.65	12 868.45	21 256.36	7 810.76	0.55
A ₈	592.53	3 849.76	9 756.69	16 722.41	6 127.09	0.58
A ₉	755.25	4 752.84	13 865.68	21 995.19	7 859.66	0.52
A ₁₀	472.61	2 928.57	8 645.94	14 695.00	5 377.63	0.60

2.5 通优梗 1 号产量与密肥控因素间的函数模型及寻优

2.5.1 产量函数模型与产量潜力。该试验的产量结果经多元非线性回归分析,得出通优梗 1 号产量($Y, \text{kg}/\text{hm}^2$)与基本苗(X_1)、施 N 量(X_2)、多效唑用量(X_3)因素编码值间的回归模型为

$$Y = 12\,312.196\,4 + 570.778\,0X_1 + 1\,119.097\,1X_2 + 50.131\,4X_3 - 937.818\,3X_1^2 - 1\,350.986\,9X_2^2 - 322.565\,8X_3^2 - 224.250\,0X_1X_2 + 3.507\,5X_2X_3 - 299.471\,9X_1X_3 \quad (1)$$

方差分析与显著性检验结果表明,回归模型方程式(1)中多项式各项回归系数均达显著或极显著水平($F > F_{0.05}$)。表明产量函数回归方程拟合度较好,能反映实际情况^[1]。

由回归方程式(1)可解得:当 $X_1 = 0.264\,3$, $X_2 = 0.392\,2$,

$X_3 = -0.042\,8$ 时, $Y_{\max} = 12\,606.0$,表明当基本苗为 55.2×10^4 个/ hm^2 ,施 N 量为 $339.2 \text{ kg}/\text{hm}^2$,多效唑施用量(纯有效成分)为 $97.9 \text{ g}/\text{hm}^2$ 时,通优梗 1 号可达到最大产量潜力,为 $12\,606.0 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

2.5.2 产量 $> 11\,250 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 的综合农艺措施合理区间。在农业生产中,要使栽插密度和施肥量都保持在最佳水平实际不太可能。寻求使产量保持在一个较高水平的基本苗、施 N 量、多效唑施用量合理区间才对通优梗 1 号生产更具有实际指导意义。

通过回归方程进一步解析可得产量 $> 11\,250 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 的综合农艺措施频数(表 6)。由表 6 可知,通优梗 1 号产量在 $11\,250 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 以上的综合农艺措施为基本苗 $52.6 \times 10^4 \sim 60.1 \times 10^4$ 个/ hm^2 ,施 N 量 $328.0 \sim 356.1 \text{ kg}/\text{hm}^2$,多效唑施用量 $87.6 \sim 104.6 \text{ g}/\text{hm}^2$ 。

表 6 产量 $> 11\,250 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 的综合农艺措施频数
Table 6 The frequency of comprehensive agricultural measures while the yield over $11\,250 \text{ kg}/\text{hm}^2$

编码值 Code value	X_1		X_2		X_3	
	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency
-1.174	0	0	0	0	24	12.12
-1	0	0	0	0	25	12.63
-0.927	3	1.52	0	0	25	12.63
-0.136	47	23.74	43	21.72	28	14.14
0	48	24.24	45	22.73	29	14.65
0.639	43	21.72	48	24.24	23	11.62
1	25	12.63	31	15.66	17	8.59
1.174	17	8.59	23	11.62	14	7.07
1.291	15	7.58	8	4.04	13	6.57
次数合计 Total times	198	100	198	100	198	100
编码平均值 Average code value	0.317 3		0.071 8		-0.077 0	
S_x	0.095 3		0.071 8		0.086 4	
95% 置信区间 95% confidence interval	0.130 5 ~ 0.504 1		0.279 8 ~ 0.561 2		-0.246 3 ~ 0.092 3	
农艺措施 Agronomic measure	$52.6 \times 10^4 \sim 60.1 \times 10^4$		$328.0 \sim 356.1$		$87.6 \sim 104.6$	

2.5.3 单因素对产量的效应。回归方程式(1)中一次项系数反映各因素对产量的线性效应,其系数大小直接反映各因素对产量的效应程度,由此可见在该试验条件下各因素对产量的影响程度从大到小依次为施 N 量、基本苗、多效唑施用量。

若固定了两个因素的取值,代入式(1)则可得产量依第三因素的一元回归方程,即为单因素对产量的效应。此时,

为了获得最高产量,第三因素应有一个最适值。
若固定两个因素为零水平,则单因素对产量的效应见表 7。结果表明:当基本苗在 50×10^4 个/ hm^2 ,施 N 量在 $300 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 时,最适多效唑施用量为 $103.9 \text{ g}/\text{hm}^2$;当基本苗在 50×10^4 个/ hm^2 ,多效唑施用量在 $100 \text{ g}/\text{hm}^2$ 时,最适施 N 量为 $341.4 \text{ kg}/\text{hm}^2$;当施 N 量在 $300.0 \text{ kg}/\text{hm}^2$,多效唑施用量在 $100 \text{ g}/\text{hm}^2$ 时,最适基本苗为 $56.1 \times 10^4/\text{hm}^2$ 。

表 7 单因素对产量的效应
Table 7 The effect of single factor for yield

固定因子 Fixed factors	单因素对产量效应回归方程 Single factor regression equation for yield effect	变量因子最适编码值 The optimal code value of the variable factor
$X_1 = 0, X_2 = 0$	$Y = 12\,312.196\,4 + 50.131\,4X_3 - 322.565\,8X_3^2$	$X_{3 \cdot \text{opt}} = 0.077\,7$
$X_1 = 0, X_3 = 0$	$Y = 12\,312.196\,4 + 1\,119.097\,1X_2 - 1\,350.986\,9X_2^2$	$X_{2 \cdot \text{opt}} = 0.414\,2$
$X_2 = 0, X_3 = 0$	$Y = 12\,312.196\,4 + 570.778\,0X_1 - 937.818\,3X_1^2$	$X_{1 \cdot \text{opt}} = 0.304\,3$

2.5.4 二因素互作对产量的效应。若固定了一个因素的取值,代入式(1)可得产量依另两个因素的二元回归方程,即为二因素互作对产量的效应。此时,为了获得最高产量,另两个因素也应有一个最适值。

若固定一个因素为零水平,则二因素互作对产量的效应见表 8。结果表明:当基本苗固定在 50×10^4 个/ hm^2 时,最适施 N 量为 $341.4 \text{ kg}/\text{hm}^2$,最适多效唑施用量为 $103.9 \text{ g}/\text{hm}^2$;当施 N 量固定在 $300.0 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 时,最适基本苗为 56.3×10^4

个/hm²,最适多效唑施用量为 96.6 g/hm²;当多效唑施用量固定在 100.0 g/hm² 时,最适基本苗为 57.9 × 10⁴ 个/hm²,最

表 8 二因素互作对产量的效应
Table 8 The interactions effect of two factor for yield

固定因子 Fixed factors	二因素互作对产量效应回归方程 Two factor regression equation for yield effect	变量因子最适编码值 The optimal code value of the variable factor
$X_1 = 0$	$Y = 12\,312.196\,4 + 1\,119.097\,1X_2 + 50.131\,4X_3 - 1\,350.986\,9X_2^2 - 322.565\,8X_3^2 + 3.507\,5X_2X_3$	$X_{2 \cdot \text{opt}} = 0.414\,3, X_{3 \cdot \text{opt}} = 0.078\,0$
$X_2 = 0$	$Y = 12\,312.196\,4 + 570.778\,0X_1 + 50.131\,4X_3 - 937.818\,3X_1^2 - 322.565\,8X_3^2 - 299.471\,9X_1X_3$	$X_{1 \cdot \text{opt}} = 0.315\,3, X_{3 \cdot \text{opt}} = -0.068\,6$
$X_3 = 0$	$Y = 12\,312.196\,4 + 570.778\,0X_1 + 1\,119.097\,1X_2 - 937.818\,3X_1^2 - 1\,350.986\,9X_2^2 - 224.250\,0X_1X_2$	$X_{1 \cdot \text{opt}} = 0.392\,8, X_{2 \cdot \text{opt}} = 0.257\,3$

3 小结与讨论

试验结果表明,通优粳 1 号在江苏沿江地区种植,密肥控三因素中,施 N 量和基本苗依次对产量影响较大,多效唑用量对产量影响较小。增加基本苗和施 N 量有利于增加群体数量和茎蘖密度,提高成穗数,增加群体叶面积和干物质积累量。但基本苗和施 N 量过高,会降低成穗率和经济系数,延长生育期。适宜基本苗和施 N 量可协调茎蘖密度与成穗率之间的关系,保持灌浆期有较高的叶面积和干物质积累,提高通优粳 1 号产量。适量多效唑可有效降低成熟期株高,利于抗倒。

根据产量与密肥控因素间的多元非线性回归分析,在基本苗 55.2 × 10⁴ 个/hm²、施 N 量 339.2 kg/hm²、多效唑施用量 97.9 g/hm² 时,通优粳 1 号可达到最大产量潜力 12 606.0 kg/hm²。通优粳 1 号产量 11 250 kg/hm² 以上的综合农艺措施为基本苗 52.6 × 10⁴ ~ 60.1 × 10⁴ 个/hm²,施 N 量 328.0 ~ 356.1 kg/hm²,多效唑施用量 87.6 ~ 104.6 g/hm²。故在通优粳 1 号高产栽培过程中,要获得 11 250 kg/hm² 以上产量,应将基本苗、施 N 量和多效唑施用量尽可能控制在

该范围以内。另外,生产中还应根据不同的栽培条件确定不同的栽培管理措施,尽可能采用最适基本苗、最适施 N 量、最适多效唑用量,以促进群体合理发展,提高产量^[7-10]。

参考文献

[1] 丁希泉. 农业应用回归设计[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1986.
[2] 莫惠栋. 农业试验统计[M]. 上海:上海科学技术出版社,1984.
[3] 刘建,徐少安,周根友. 多熟制春玉米两段覆膜种植的生产潜力及高产技术优化研究[J]. 南京农学报,2000,16(4):6-11.
[4] 刘建,徐少安,周根友. 沿江地区后季稻塑盘旱育抛栽综合技术数学模式研究[J]. 安徽农业科学,2001,29(2):157-159.
[5] 周根友,刘建,徐少安. 不同密度和不同施肥水平对后季稻旱育抛栽群体质量和产量的影响[J]. 河南职业技术师范学院学报,2003,31(2):1-4.
[6] 周根友,刘建,徐少安. 后季稻旱育抛栽不同密肥条件下生长发育特征[J]. 湖北农学院学报,2003,23(6):401-404.
[7] 周根友,刘建,张小忠,等. 后季稻南粳 38 旱育抛栽产量构成因子分析[J]. 安徽农业科学,2004,32(1):9-10.
[8] 刘建,周根友,徐少安. 春玉米不同品种及种植方式对植株生长的影响[J]. 南京农学报,2002,18(1):13-19.
[9] 郑克武,邹江石,吕川根,等. 氮肥和密度对两系亚种间杂交稻“两优培九”产量及产量结构的影响[J]. 江苏农业学报,2001,17(1):19-23.
[10] 周根友. 密度和施肥对黑宝石 1 号小麦生育和产量的影响[J]. 浙江农业科学,2012(7):945-947.

(上接第 16 页)

[3] 朱庆森,黄丕生. 水稻节水栽培研究论文集[C]. 北京:中国农业科学技术出版社,1995.
[4] 钱晓晴,沈其荣,王娟娟,等. 模拟水分胁迫条件下水稻的氮素营养特征[J]. 南京农业大学学报,2003,26(4):9-12.
[5] 宋娜,郭世伟,沈其荣. 不同氮素形态营养及水分胁迫对分蘖期水稻水分吸收及光合特性的影响[J]. 南京农业大学学报,2006,29(4):64-69.
[6] WANG M Y, SIDDIQI M Y, RUTH T J, et al. Ammonium uptake by rice roots. II. Kinetics of ¹⁵NH₄⁺ influx across the plasmalemma[J]. Plant physiology, 1993, 103:1259-1267.
[7] 杨培岭,罗远培. 冬小麦根系形态的分形特征[J]. 科学通报,1994,39(20):1911-1913.
[8] 单长卷,梁宗锁. 土壤干旱对冬小麦幼苗根系生长及生理特性的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(5):38-41.
[9] 吴安慧,张岁岐,邓西平,等. 水分亏缺条件下玉米根系 PIP2-5 基因的表达[J]. 植物生理学通讯,2006,42(3):457-460.
[10] GAZAL R M, KUBISKE M E. Influence of initial root length on physiolog-

ical responses of cherrybark oak and Shumard oak seedlings to field drought conditions[J]. Forest ecology and management, 2004, 189(1):295-305.
[11] NICOLÁS E, TORRECILLAS A, DELL' AMICO J, et al. The effect of short-term flooding on the sap flow, gas exchange and hydraulic conductivity of young apricot trees[J]. Tress, 2005, 19(1):51-57.
[12] 陈金平,刘祖贵,段爱旺,等. 土壤水分对温室盆栽番茄叶片生理特性的影响及光合下降因子动态[J]. 西北植物学报,2004,24(9):1589-1593.
[13] TURNER D W, THOMAS D S. Measurements of plant and soil water status and their association with leaf gas exchange in banana (*Musa* spp.): A laticiferous plant[J]. Scientia horticulturae, 1998, 77(3/4):177-193.
[14] 陈晓远,高志红. 木质部液流的碱化:一个综合的干旱胁迫响应信号[J]. 植物生理学通讯,2010,46(2):185-190.
[15] 毛达如. 植物营养研究方法[M]. 北京:中国农业大学出版社,2001.
[16] 张华,刘子会,马春红,等. 干旱胁迫下玉米木质部汁液 pH 和 ABA 含量变化及其与气孔的关系[J]. 河北农业科学,2004,8(2):35-39.