

华北地区播种量不同时旱稻产量的形成

余 璿 郭兴强 谢光辉

(中国农业大学 农学与生物技术学院农学系, 北京 100094)

摘要 为探明旱稻新品种旱稻 297 在华北地区的产量形成并确定适宜的种植密度,在 2003 年 120 kg/hm² 播种量基础上,2004 年增设更为节约的 60 和 90 kg/hm² 2 个播种量,研究不同种植密度下的产量构成。结果显示:2004 年 60、90 和 120 kg/hm² 播种量的产量分别为 3.8、3.5 和 3.4 t/hm²;成熟期 3 个播量地上部生物量(单位面积内旱稻植株茎、叶、穗的总干重)在 1 005.0 ~ 1 283.4 g/m² 范围内无显著差异;收获指数分别为 0.36、0.34 和 0.26,随播种量增大而依次降低,且 120 kg/hm² 播种量显著低于其他 2 个播种量。从产量构成因子来看,颖花数少是本试验旱稻产量低的主要原因;结实率对产量的作用受环境影响,年际间差异较大。总之,2004 年 60 kg/hm² 播种量表现出较好的群体结构,在单株最高分蘖数、分蘖成穗率、穗粒数和结实率上都优于其他 2 个播种量;而 90 kg/hm² 播种量在相同条件下单位面积的颖花数最高。因此,60 ~ 90 kg/hm² 播种量的旱稻群体在生产中具有进一步提高产量水平的潜力,是比较适宜的播种量。

关键词 旱稻;华北地区;播种量;生物量;籽粒产量;产量构成因子;水分利用效率;群体动态

中图分类号 S 511.6

文章编号 1007-4333(2007)06-0039-05

文献标识码 A

Yield of aerobic rice at different seeding rates in North China

Yu Jun, Guo Xingqiang, Xie Guanghui

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract To study the yield of an aerobic rice variety, HanDao297 (HD297), and determine a reasonable planting density, a field experiment was carried out in 2003 and 2004. The seeding rate was 120 kg/hm² in 2003 and three seeding rates—60, 90 and 120 kg/hm²—were used in 2004. The grain yields (t/hm²) at the three seeding rates were 3.8, 3.5, and 3.4 respectively. The aboveground biomass at maturity varied from 1 005.0 g/m² to 1 283.4 g/m² and the differences among the three seeding rates were not significant. The harvest index (HI) was 0.36 for 60 kg/hm², 0.34 for 90 kg/hm², and 0.26 for 120 kg/hm² and the HI at 120 kg/hm² was significantly lower than the other two rates. Generally, the small glume number led to the low yields of aerobic rice. Percentage of filled spikelets affected yields as did the variation in growth environment but grain weight had little effects on yields. For Han Dao 297, the best population density for maximum number of total and productive tillers, spikelet number per panicle, and percentage of filled spikelets was for 60 kg/hm². However, the number of glumes per unit area was highest at 90 kg/hm². Therefore, the seeding rate of 60-90 kg/hm² is recommended for high grain yield.

Key words aerobic rice; the North China Plain; seeding rate; biomass; grain yield; yield components; water use efficiency; population dynamics

水资源的短缺制约着我国第一大粮食作物水稻的可持续生产,威胁着我国的粮食安全。作为节水水稻的重要组成部分,也是确保粮食安全最有潜力的作物之一,旱稻(aerobic rice)及其栽培体系近年来

一直是国内外的研究热点^[1-5]。旱稻通常种植于降水充沛的坡地或具有灌溉条件但难以满足水稻需水的低洼地,辅以适当的水肥投入和栽培管理,其产量具有达到 6 t/hm² 的潜力。目前,菲律宾国际水稻研

收稿日期:2007-05-15

基金项目:国际合作项目“CGIAR Challenge Program on Water and Food”资助

作者简介:余璿,博士研究生,E-mail:jasper@cau.edu.cn;谢光辉,教授,博士生导师,通讯作者,主要从事稻作栽培及土壤养分研究,E-mail:xiegh@cau.edu.cn

究所、荷兰瓦赫宁根大学和中国农业大学等科研机构在旱稻品种选育、土壤水分条件和水氮互动与旱稻的产量形成及水分和氮肥利用率^[6-9]、旱稻品种生育早期对不同形态氮吸收偏好^[10]以及旱稻品种的连作障碍^[11-12]等方面都有深入的研究。但从确定适宜播种量和提高群体质量的角度来探讨旱稻产量形成的研究鲜有报道。本研究旨在探讨华北地区旱稻3个播种量下的群体动态、成熟期地上部生物量(单位面积内旱稻植株茎、叶、穗的总干重)和产量构成因子,解析不同播种量下产量的形成特点,为生产上确立适宜的播种量、构建合理的群体及进一步发挥旱稻的产量潜力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2003年和2004年5—10月在北京市海淀区西北旺乡(39°55'N, 116°4'E)进行。为避免旱稻的连作效应,2004年试验在2003年试验地以南300m处进行。2年试验地均为砂壤土,0~20cm土层土壤质地构成分别为砂粒58.3%和61.0%、粉粒29.7%和27.9%、黏粒12.3%和11.1%,pH 7.4和7.6,有机碳10.3和9.4g/kg,土壤全氮1.00和0.95g/kg,土壤速效磷(Olsen-P)10.5和54.4mg/kg,土壤速效钾(NH₄ACK)71.7和81.1mg/kg。2年生育期内降雨量分别为415和539mm。

1.2 试验设计

2003年播种量为120kg/hm²,4次重复。2004年增加2个播种量,设60、90和120kg/hm²3个播种量水平,采用完全随机区组试验设计,3次重复。试验品种为旱稻297。在华北中北部春播时其主要特征为:生育期130~140d,株高90~100cm,主茎总叶片数11~12,伸长节间4~5,穗长18~20cm,穗粒数70~90,千粒重27~29g。小区面积为5×4m²。2年分别于05-14和05-12进行条播,行距为27.5cm。施肥量为N 120kg/hm²、P₂O₅ 50kg/hm²和

K₂O 180kg/hm²,肥料种类为市售的硫铵(N 20.5%),过磷酸钙(P₂O₅ 18.0%)和氯化钾(K₂O 60%)。其中,40%氮肥、全部磷肥和50%钾肥于播种前撒施,分蘖期追施20%氮肥,穗分化后15d追施30%氮肥和50%钾肥,抽穗期追施10%氮肥。2003年,在旱稻分蘖期、齐穗期和灌浆期各灌溉1次;2004年降雨偏多,仅在齐穗期和灌浆期各灌溉1次。根据出水口流量和灌溉时间控制分蘖期、齐穗期的灌溉用水量分别为750m³/hm²,灌浆期为450m³/hm²。2003和2004年的总灌溉水量分别为1950和1200m³/hm²。2年的收获日期分别为10-10和10-07。

1.3 取样与观测

1) 茎蘖数观测和叶面积测定。茎蘖数于三叶期至抽穗期进行观测,2003年每20d、2004年每10d定位观测一次,观测样本为5个0.6m双行的所有稻株。2004年增加叶面积的观测,于茎蘖数观测同日,用“五点法”取30个茎,按大小顺序排列后等间距选取10个茎用“长宽法”测定^[13]。

2) 地上部生物量测定。成熟期用“五点法”取30个茎,在75℃下烘至恒重测定地上部生物量。

3) 籽粒产量及构成因子测定。成熟期测定5个1m双行的穗数,并用“五点法”取20个穗测定穗粒数、结实率和千粒重。收获8m²内所有植株的籽粒测定实产。

2 结果与分析

2.1 地上部生物量与收获指数

2年试验成熟期地上部生物量为1005.0~1283.4g/m²,没有表现出随着播种量增大而增加的趋势。2004年籽粒产量随着播种量增大而降低,但在3个播种量间没有显著差异;2004年收获指数在0.26~0.36范围内随着播种量增大而降低,60和90kg/hm²播种量的收获指数没有显著差异,却都在P<0.05水平上显著高于120kg/hm²播种量(表1)。

表1 3个播种量下旱稻297的产量、地上部生物量和收获指数

Table 1 Yield, aboveground biomass at maturity and harvest index of HanDao 297 at the three seeding rates

年份	播种量/(kg/hm ²)	籽粒产量/(g/m ²)	地上部生物量/(g/m ²)	收获指数
2003	120.0	387.3 ±14.4	1283.4 ±52.2	0.30 ±0.02
2004	60.0	376.6 ±32.4 a	1052.7 ±100.1 a	0.36 ±0.02 a
	90.0	337.8 ±26.9 a	1005.0 ±173.3 a	0.34 ±0.03 a
	120.0	330.6 ±11.2 a	1269.7 ±157.3 a	0.26 ±0.03 b

注:同列数字后字母不同表示不同处理间差异显著(P<0.05),下同。

2.2 群体茎蘖数与叶面积指数动态

2004 年 60 和 90 kg/hm² 播种量的基本苗分别为 120 kg/hm² 播种量的 51.9 % 和 80.7 % , 均在 $P < 0.05$ 水平上达到了显著差异 (表 2)。虽然 120 kg/hm² 播种量的茎蘖数在最高分蘖期依然显著高于其余 2 个播种量, 但 60 kg/hm² 播种量每 m² 茎蘖数却高出 90 kg/hm² 播种量近 30 茎 (图 1)。60 kg/hm² 播种量的单株最高分蘖数显著高于 90 和 120 kg/hm² 播种量, 而

2 个较大播种量间没有显著性差异 (表 2)。成熟期 60 kg/hm² 播种量的穗数显著低于其余 2 个播种量, 分别为 90 和 120 kg/hm² 播种量的 90.4 % 和 85.7 % , 但与种植密度相比, 穗数的差异已明显减小; 此外, 60 kg/hm² 播种量的分蘖成穗率高于 90 kg/hm² 播种量并在 $P < 0.05$ 水平上显著高于 120 kg/hm² 播种量。需要注意的是 2004 年 120 kg/hm² 播种量的分蘖成穗率竟为 -9.0 % , 即有部分主茎因个体间竞争激烈而

表 2 3 个播种量下早稻 297 的基本苗及单株的分蘖发生、成穗数

Table 2 Plant density, tiller number and productive tiller number of HanDao 297 at the three seeding rates

年份	播种量/(kg/hm ²)	基本苗/m ⁻²	最高茎蘖数/m ⁻²	穗数/m ⁻²	单株最大分蘖数	分蘖成穗率 [*] /%
2003	120.0	364.3	737.0 ±61.0	389.5 ±9.0	1.0 ±0.2	7.0 ±3.3
2004	60.0	175.9 ±21.9 c	577.8 ±35.8 b	266.9 ±5.7 c	2.3 ±0.2 a	22.8 ±6.7 a
	90.0	273.3 ±40.9 b	541.8 ±29.7 b	295.3 ±3.5 b	1.0 ±0.3 b	7.2 ±14.3 ab
	120.0	338.8 ±28.0 a	650.5 ±14.1 a	311.3 ±9.9 a	0.9 ±0.1 b	-9.0 ±6.4 b

注: * 分蘖成穗率 = (穗数 - 基本苗数) / (最高茎蘖数 - 基本苗数) × 100 %。

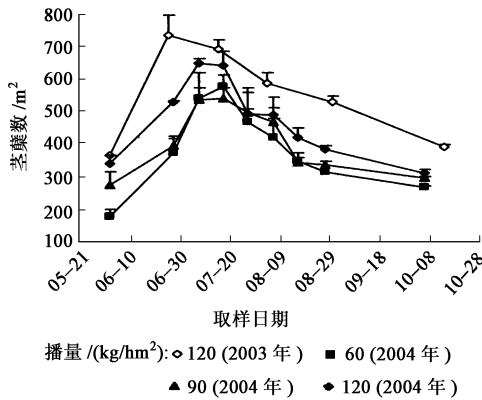


图 1 不同年份不同时期 3 个播量下早稻 297 的茎蘖数

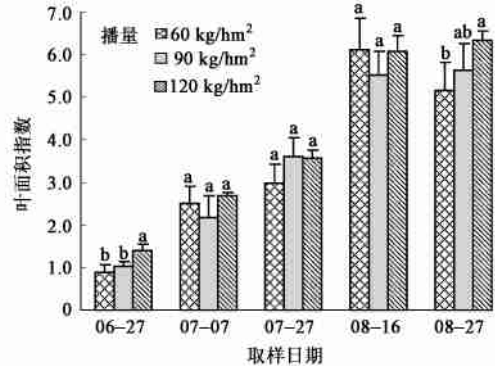
Fig. 1 Stem number dynamics of HanDao 297 at the three seeding rates in 2003 and 2004

没有能够成穗。

2004 年叶面积指数没有随播种量增大而升高 (图 2)。除分蘖前期 120 kg/hm² 播种量显著高于 60 和 90 kg/hm² 播种量及抽穗期 120 kg/hm² 播种量显著高于 60 kg/hm² 播种量外, 其余时期 3 个播种量间的差异都没有达到显著水平; 同时, 3 个播种量下最大叶面积指数的出现时间并不一致, 60 kg/hm² 播种量在 08-16 达到最高的 6.1, 90 和 120 kg/hm² 播种量则在 08-27 达到最高的 5.7 和 6.3。

2.3 产量及其构成因子

2004 年 3 个播种量的籽粒产量没有显著性差异, 却表现出随播种量增大而降低的趋势。60 kg/hm² 播种量分别比 90 和 120 kg/hm² 播种量高



不同字母表示同一时期不同播量间差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 2004 年不同时期 3 个播量下早稻 297 的叶面积指数

Fig. 2 Leaf area index of HanDao 297 at the three seeding rates in 2004

8.6 % 和 11.8 % ; 2004 年 120 kg/hm² 播种量的籽粒产量比 2003 年低 14.7 % (表 1)。2004 年单位面积穗数随播种量的升高而增大, 60 kg/hm² 播种量的显著低于其余 2 个播种量, 90 kg/hm² 播种量的显著低于 120 kg/hm² 播种量。2004 年每穗粒数为 61.0 ~ 80.6 , 随着播种量的增大依次减少, 其中, 60 和 90 kg/hm² 播种量间没有显著差异但都显著高于 120 kg/hm² 播种量 (表 3)。结实率并没有随播种量改变而表现出规律性的变化, 2004 年 120 kg/hm² 播种量的结实率低于 2003 年 13.8 % , 可能与 2004 年早稻孕穗开花期间阴雨天较多有关。千粒重在 3 个播种量间差异不显著, 稳定在 27.4 ~ 28.4 g 之间。

表3 3个播种量下旱稻297的产量及其构成因子

Table 3 Yield and yield components of HanDao 297 at seeding rates

年份	播种量/(kg/hm ²)	穗数/m ⁻²	穗粒数	总颖花数/(10 ³ /m ²)	结实率/%	千粒重/g
2003	120.0	389.5 ±9.0	62.3 ±3.3	24.2 ±0.8	83.3 ±2.4	27.6 ±1.2
2004	60.0	266.9 ±5.7 c	80.6 ±5.5 a	21.5 ±1.6 a	78.6 ±3.5 a	28.4 ±0.4 a
	90.0	295.3 ±3.5 b	74.9 ±5.0 a	22.1 ±1.7 a	66.5 ±5.4 b	27.4 ±1.1 a
	120.0	311.3 ±9.9 a	61.0 ±7.4 b	19.0 ±2.4 a	71.8 ±3.1 ab	27.5 ±0.8 a

2.4 水分利用效率与灌溉水利用效率

2003年旱稻297的水分利用效率和灌溉水利用效率分别为0.6和2.0 kg/m³。2004年,60播种量的水分利用效率和灌溉水利用效率分别为0.6和3.1 kg/m³,其余2个播种量的均为0.5和2.8 kg/m³。

3 讨论

1) 3个播种量下旱稻297成熟期地上部的生物

量为1 005~1 283 g/m²,说明其籽粒产量的潜力可达到5 t/hm²以上,然而,其收获指数仅为0.26~0.36,大大限制了产量水平。在Bouman等^[9]的旱稻水分试验中,旱稻297的收获指数也与本研究相近。可见提高收获指数是进一步增加旱稻297产量的重要措施。从产量构成因子与产量的相关性分析可知,本研究的籽粒产量与颖花数和结实率分别达到显著和极显著正相关(表4),即颖花数和结实率是影响

表4 产量、分蘖成穗率、产量构成因子间的相关性

Table 4 Correlation coefficient (r) among grain yield, productive tiller percentage and yield components

	产量/(g/m ²)	穗数/m ⁻²	分蘖成穗率/%	穗粒数	颖花数/m ⁻²	结实率/%	千粒重/g
产量/(g/m ²)	—	0.420 ns	0.480 ns	0.104 ns	0.637 *	0.790 **	0.398 ns
穗数/m ⁻²	—	—	-0.271 ns	-0.684 *	0.524 ns	0.548 ns	-0.159 ns
分蘖成穗率/%	—	—	—	0.654 *	0.354 ns	0.211 ns	0.458 ns
穗粒数	—	—	—	—	0.258 ns	-0.211 ns	0.312 ns
颖花数/m ⁻²	—	—	—	—	—	0.435 ns	0.088 ns
结实率/%	—	—	—	—	—	—	0.194 ns
千粒重/g	—	—	—	—	—	—	—

注:ns为相关不显著;* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

产量的主要因素。而这两者也与收获指数有着密切关系。无疑,提高颖花数和结实率是实现旱稻增产的重要措施。

2) 旱稻297的穗粒数不足90,远低于现代高产水稻品种的穗粒数(约200),必须通过增加单位面积穗数来增大颖花数。本研究通过扩大种植密度实现了穗数的增加,3个播种量之间的差异都在 $P < 0.05$ 水平上达到显著水平。然而,总颖花数的差异在3个播种量之间却不显著。穗数增加引起的穗粒数下降抵消了其对总颖花数的贡献,使总颖花数维持在一个相对稳定的范围。这与前人对水稻的研究结果一致^[14-16]。凌启鸿^[17]认为水稻在一定的LAI下有一个总颖花数的上限。本研究2003年在播种量为120 kg/hm²的前提下获得了2年的最高颖花数(24.2 ±0.8) ×10³/m²,而2004年播种量为90 kg/hm²时颖花数高于其余2个播量。这说明播种量为90 kg/hm²时旱稻297可能会有一个总颖花数的极

值,但本试验没有达到这个上限。

3) 结实率受气候条件的影响较大,人工手段难以调控。但通过栽培管理措施营造良好的群体结构,促进花后光合产物的形成,对提高结实率是有益的。2004年120 kg/hm²播种量的群体,在总颖花数比2003年少21.5%的前提下,结实率仅为后者的86%,这一方面是因为2004年生育后期的阴雨天多于2003年,影响了光合产物的形成;另一方面,2004年群体有效叶面积所占比重低也部分造成了光合积累的不足。凌启鸿^[17]认为有效茎蘖的叶片为有效叶面积,而无效分蘖叶片的光合产物对产量无实质贡献。2004年3个播种量的分蘖成穗率都不高,120 kg/hm²播种量的甚至为负值。从不同播种量来看,在密度仅为90和120 kg/hm²播种量的64.4%和51.9%的前提下,60 kg/hm²播种量的叶面积指数在大部分生育时期与其余2个播种量没有显著性差异,但因个体健壮、基部透光性好,有效叶面积所占

比重相对较大,而增加了光合产物的合成与积累并最终提高了产量。

4 结 论

2004年旱稻297在60、90和120 kg/hm² 3个播种量条件下籽粒产量分别为3.8、3.5和3.4 t/hm²,随播种量增大而降低。2年每m²总颖花数均不足2.5万,结实率也低于85%,导致试验中的籽粒产量都不足4 t/hm²,远低于普通移栽水稻约7 t/hm²的产量水平,但水分利用效率却与水稻相当。2004年3个播种量中,60 kg/hm²播种量表现出较好的群体结构,单株最高分蘖数、分蘖成穗率、穗粒数和结实率都优于其余2个播种量,但是90 kg/hm²播种量的总颖花数最高。因此,生产上60~90 kg/hm²播种量具有获取较高产量的潜力,而在本研究基础上,是否能够通过进一步降低播量来获取更高的产量,还有待深入研究。

参 考 文 献

- [1] 程旺大,赵国平,张国平,等. 水稻和陆稻籽粒灌浆特性的比较[J]. 中国水稻科学,2002,16(4):335-340
- [2] Tabbal, D F, Bouman, B A M, Bhuiyan, S I, et al. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines[J]. Agr Water Manage, 2002, 56, 93-112
- [3] 王有芬,闵忠鹏,侯守贵,等. 水稻高产节水栽培技术研究及展望[J]. 作物杂志,2005(5):58-59
- [4] Tao H B, Brueck H, Dittert K, et al. Growth and yield formation of rice (*Oryza sativa* L.) in the water-saving ground cover rice production system (GCRPS) [J]. Field Crop Res, 2006, 96:1-12
- [5] Conway G, Toenniessen G. Feeding the world in the twenty first century[J]. Nature, 1999, 402:C55-C58
- [6] 谢光辉,王素英,王化琪,等. 旱稻矿质养分吸收与施肥效应[J]. 中国农业科学,2003,36(10):1171-1176
- [7] Belder P, Bouman B A M, Spiertz J H J, et al. Crop performance, nitrogen and water use in flooded and aerobic rice[J]. Plant Soil, 2005, 273:167-182
- [8] Yang X G, Bouman B A M, Wang H Q, et al. Performance of temperate aerobic rice different water regimes in North China[J]. Agr Water Manage, 2005, 74(2):107-122
- [9] Bouman B A M, Yang X G, Wang H Q, et al. Performance of aerobic rice varieties under irrigated conditions in North China[J]. Field Crop Res, 2006, 97:53-65
- [10] Lin S, Li J, Sattelmacher B, et al. Lowland and aerobic rice respond to ammonium and nitrate supply during early growth stages[J]. J Plant Nutr, 2005, 28(9):1495-1510
- [11] George T, Magbanua R, Garrity D P, et al. Rapid yield loss of rice cropped successively in aerobic soil[J]. Agron J, 2002, 94:981-989
- [12] Peng S B, Bouman B A M, Visperas R M, et al. Comparison between aerobic and flooded rice in the tropics: Agronomic performance in an eight-season experiment [J]. Field Crop Res, 2006, 96:252-259
- [13] Yoshida S, Forno D A, Cock J H, et al. Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice [M]. Philippines: International Rice Research Institute, 1976:6
- [14] Yoshida S. Fundamentals of Rice Crop Science [M]. Philippines: International Rice Research Institute, 1981:61-62
- [15] 邢永忠,徐才国,华金平,等. 水稻穗部性状的QTL与环境互作分析[J]. 遗传学报,2001,28(5):439-446
- [16] 徐建龙,薛庆中,罗利军,等. 水稻单株有效穗数和每穗粒数的QTL剖析[J]. 遗传学报,2001,28(8):752-759
- [17] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海:上海科学技术出版社,2000:64