

水稻公顷9吨栽培技术研究报告*

第1报. 高产水稻干物积累及生理性状分析

安东文 尤宗彬 金润植 玄龙玉

(延边农学院农学系)

金熙星 金元石 宋熙山

(延边州农科所)

(龙井市农业局)

1987~1989年我们受省科委的委托研究开发水稻超高产(公顷9~9.5吨)栽培技术。根据项目合同精神,在龙井市选择若干典型农户建立大面积超高产示范田,并研究了品种、育秧、施肥、密度等组合配套的超高产关键性措施及生理、生态方面的有关特性。经三年的努力,1989年龙井市10119亩高产示范田平均亩产达到608.4公斤,其中14.7亩单产达788.9公斤,1990年本市的30万亩水田亩产超过600公斤,获得了良好的经济效益。研究表明,本地区亩产600公斤以上的产量结构为:亩有效穗数40~45万,穗总粒数80~90粒,结实率80%左右,千粒重25克以上。超高产栽培关键措施为:选用秆较矮穗较大的中熟高产良种如藤系138;早育大苗和营养钵育秧;23.3+10cm 4穴正条式移栽;实施碳素型施肥法及结实期根外喷施尿素和磷酸二氢钾等综合技术。

本文根据校内高产试验资料,研究分析了高产水稻的干物质积累与分析,植株N、C率和叶绿素含量等生理性状的变化特征。

材料与方 法

试验于1987~1989年在延边农学院水稻试验地进行。面积为7.5亩(1987年试验田平均亩产632.8公斤;1989年为642.4公斤。1988年因受障碍型冷害严重减产,观察田A、B、C实产分别为629.3公斤、528公斤和442公斤/亩)。供试品种为藤系138,采用薄膜旱育苗,于4月10日~14日播种,播种量为平方米200克。5月20日~23日插秧。移栽形式为23.3+10cm 4穴正条式(每平方米36穴),基本苗数3~5棵。

施肥:每亩总N量10公斤,采用碳素型施肥法,即底:蘖:补:穗:粒的比例为2.5:2:1.5:3:1。 P_2O_5 、 K_2O 每亩各6公斤(底肥50%,补肥25%,穗肥25%)。

另外还设立亩产分别在600公斤(A)、500公斤(B)、400公斤(C)三水平的观察田以测定不同产量水平下的干物质积累与分配。随机区组设计,3次重复,小区面积100米²。

观察测定项目:1. 生育动态(出叶、株高、分蘖、生育期等);2. 分阶段测定叶绿素含量、叶面积、干物重、N、C率;3. 考种(枝梗、穗、粒性状、谷草比);4. 米质(碾米、营养品质)。

结果与分析

(一)干物质生产与分配

* 本项目为省科委的招标项目。1990年2月已通过省级鉴定。

1. 干物质生产

高产水稻需要足够的生物产量(干物重),生物产量是经济产量的物质基础,将不同产量水平的干物质生产示意如图 1。

图 1 表明,不同产量水平之间总干物质积累有明显的差异,即产量越高干物质积累越多。干物质积累的总趋势在生育前期增长缓慢,生育期增长迅速,后期又逐渐下降,呈“S”曲线。

从各生育期的干物质增长速率看,高产田(A区)的干物质特点是孕穗期~齐穗期之间增长速度最快,其次是最高分蘖~孕穗期,再次是齐穗~乳熟末期(参见表 1)。其他两区(B、C),虽然也有同样的趋势,但进入乳熟末期后两块田的干物质日增长量下降很快,B、C区分别由原来的 104.7 和 $92.7\text{mg} \cdot \text{日}^{-1} \cdot \text{dm}^{-2}$ 下降到 53.3 和 $45\text{mg} \cdot \text{日}^{-1} \cdot \text{dm}^{-2}$,而A区此期间的干物质日增长量仍然高达 $166.3\text{mg} \cdot \text{日}^{-1} \cdot \text{dm}^{-2}$,可见其差异很大。

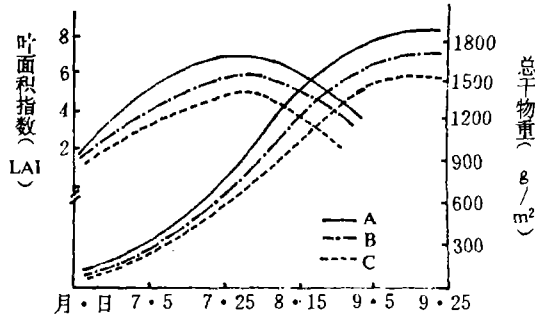


图 1 不同产量水平的干物质积累及叶面积动态

图 1 不同产量水平的干物质积累及叶面积动态

表 1 不同产量水平的净光合生产力与净同化率

生育阶段	A(600kg/亩)		B(500kg/亩)		C(400kg/亩)	
	CGR $\text{mg} \cdot \text{日}^{-1} \cdot \text{dm}^{-2}$	NAR $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{日}^{-1}$	CGR $\text{mg} \cdot \text{日}^{-1} \cdot \text{dm}^{-2}$	NAR $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{日}^{-1}$	CGR $\text{mg} \cdot \text{日}^{-1} \cdot \text{dm}^{-2}$	NAR $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{日}^{-1}$
有效分蘖终~ 最高分蘖期	122.3	43.96	115.4	52.72	93.9	53.96
最高分 ~孕穗期	288.0	51.75	254.0	51.54	172.0	46.86
孕穗~齐穗期	376.0	55.15	226.0	38.77	205.3	61.64
齐穗~ 乳熟末期	154.7	37.44	104.7	46.65	92.7	57.44
乳末~成熟期	166.3		53.3		45.0	
平 均	235.3	47.08	175.0	47.42	141.0	54.98

注: $\text{CGR}(\text{群体生长率}) = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$

$$\text{NAR}(\text{净同化率}) = \frac{1}{L} \cdot \frac{dw}{dt} = \frac{2.3(w_2 - w_1)(\log l_2 - \log l_1)}{(L_2 - L_1)(t_2 - t_1)}$$

干物质日增长量(CGR)为NAR(净同化率)和LAI(叶面积)的乘积。欲想光合产量高就必须把NAP和LAI指数在比较高的水平上统一起来。从图1和表1中可以看出,C区的干物量低于A和B的主要原因不在于NAR的降低而主要在于LAI的不足。孕穗期的最大叶面积指数A、B、C区分别为7.50、6.47和5.12,说明C区的LAI远不足于最适值。而且C区的LAI达到高峰期后下降也较快,到了乳熟期只有2.96,峰面既矮又窄。因此,NAR即使较高,也难提高群体的光合产量,导致光合生产量低。与此相反,A区的LAI各时期分布比较合理,而且齐穗时也封行不封顶,使稻株始终苗壮,根深叶茂,成熟期秆青子黄,活熟到秋。因此,在收割期平方米的总干物生产量高达1887克,经济系数为0.556,经济产量达到1050克。

2. 干物质分配

如前所述,高产需要足够的生物产量,但是如果光合产物的分配不协调即使具备了较高的生物产量,稻谷产量仍然得不到高产。

光合产物的分配状况既然与品种、栽培条件、气候因子等有着密切的相关关系,那么,不同产量水平下又如何呢?

根据我们的观察结果(如图2),无论那一种产量水平,都有一个共同特点:即叶片干重在孕穗期达到高峰;叶鞘干重在孕穗至齐穗期间达到高峰;茎秆干重在齐穗期达到高峰;穗干重则在成熟期达最大值(此图未包括成熟期)。据沈况愁的研究,水稻分蘖、拔节期的同化物主要输入新生的叶子和分蘖;孕穗期则主要输入茎和稻穗;出穗期和乳熟期则主要输入稻穗⁽¹⁾。上述稻体各器官干重的高峰期与前人的研究结果基本吻合。

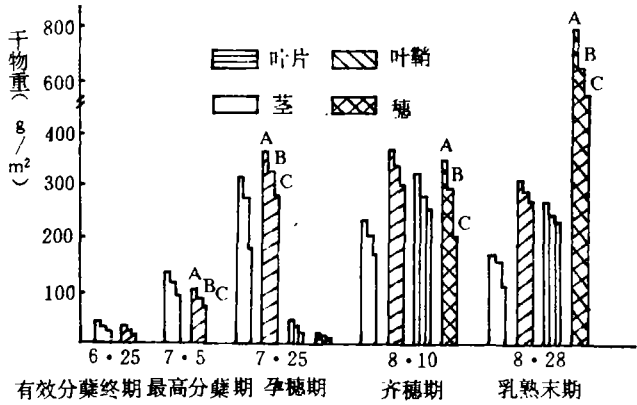


图2 不同产量田水稻各器官的干物质分配

上述稻体各器官干重的高峰期与前人的研究结果基本吻合。

从不同产量之间相比较,在最高分蘖期以前,因群体之间竞争较小,叶面积差异较小,因此净同化率乃至各器官的干物质转移量差异也较小,只是按着氮肥的高低顺次,叶片、叶鞘的干重有所差别。但是从孕穗期之后,由于稻体群体的增长而不同产量水平之间器官的干物质积累有较大差异。总的趋势是叶片、叶鞘、茎和穗的干重始终是以 A>B>C 的顺次发展。贮藏器官茎、鞘的干重积累在不同的产量之间表现出差异更加明显。

从孕穗至齐穗期间的茎、鞘干重的发展动态看,A区鞘的日减重是4.63克,茎的日增重是14.4克;B区的鞘日减重和茎日增重分别为3.9克和12.2克;C区则分别为1.2克和10.2克。说明,高产田的叶鞘向茎的干物质转移量明显大于其他两区。

齐穗至乳熟末期从不同产量田的叶片、茎、鞘等营养器官向穗部的干物质转移量来看(表2),A区的干物转移量显著大于其他两区。说明,产量越高,出穗前叶片、茎、鞘中的贮藏物质在齐穗后向穗部的转移量也越多,即“流”畅通,“源、库、流”协调。

表2 不同产量田的干物质转移量

处理	齐穗期叶、茎、鞘干重(g/m²)	乳熟末期叶、茎、鞘干重(g/m²)	转移量(g/m²)
A	902.80	696.30	206.50
B	794.55	617.87	176.68
C	696.49	544.62	151.87

曹静明等曾提出,高肥田鞘叶比重(叶鞘干重与叶干重之比)的下降与叶鞘糖分积累量的下降有密切关系,孕穗期末的鞘叶比与后期粒重的形成,经济系数及产量都有着密切的关系⁽²⁾。从我们测定的不同产量田的鞘叶比重来看,孕穗期A、B、C区的鞘叶比重分别为1.30、1.46和1.66;齐穗期分别为1.48、1.56和1.67,肥力越高鞘叶比越低,且结实率、谷草、千粒重也较低,与前人的研究相一致。

(二)生理性状分析

1. 叶片C、N率及叶绿素含量

对最高分蘖期至乳熟期间叶C、N率,C/N和叶绿素含量的测定表明,在最高分蘖期至

乳熟期间,功能叶片的 C、N 含量随着生育的进展而逐渐下降;而 C/N 值则依次递增(表 3),两年结果相一致。

表 3 水稻中后期叶氮、碳率及叶绿素含量

项目 日期	N(%)		C(%)		C/N		叶绿素(mg/g·鲜)			备注
	1987	1989	1987	1989	1987	1989	叶位	1987		
								1987	1989	
7月5日	3.348	3.439	39.17	41.59	11.70	12.09	10/0	0.857	0.978	最高分蘖期
7月25日	3.270	2.774	39.45	40.75	12.06	14.69	12/0	1.325	1.395	孕穗期
8月10日	3.112	3.385	38.58	39.08	12.40	16.39	剑叶	1.328	1.313	齐穗期
8月28日	2.695	2.161	38.08	39.14	14.13	18.11	剑叶	1.329	1.314	乳熟末期

注:①品种为藤系 138,考查点 n=12

②数据由吉林省农科院土壤测试中心分析。

从叶 C、N 率在各生育时期的变化情况看,以叶碳率为最平稳,两年各时期的变异系数只有 2.91%,而叶氮率在各时期变动较大,两年的变异系数为 16.18%。说明各时期 C/N 值的变化主要取决于叶 N 量。再从叶绿素含量来看,以最高分蘖期为最低,此后经过穗肥,到了孕穗期叶绿素含量回升直到齐穗~乳熟期仍保持较高水平,这有利于结实期的光合作用。

2. 器官生长与 N、C 率的关系

由不同产量田水稻各器官的 N、C 率比较(如图 3 所示)可以看出,不同产量之间各时期的叶片、叶鞘、茎和穗的含 N 和含 C 率始终是 A 区高于 B 区, B 区又高于 C 区,尤以叶 N 率更为明显。叶片、叶鞘、茎的含 N 和含 C 率都是随着生育的进展而逐渐下降。而穗的含 N 和含 C 率则从孕穗开始逐渐上升。齐穗之前各器官的含 N 率和含 C 率顺序为叶片>叶鞘>茎;齐穗期为叶片>穗>鞘>茎;乳熟末期 N 素为穗>叶片>鞘>茎,而 C 素为穗>茎>鞘>叶片。这种变化趋势同光合产物的分配中心的转向相一致。

再从各时期各器官的 C/N 看,不同产量之间也有较大差异,即以 C 区>B 区>A 区的顺序排列,尤其是在抽穗后茎、鞘的差异显得更为突出。各器官之间 C/N 值的顺次是:出穗前为叶鞘>叶片;齐穗后为茎>鞘>穗>叶。各时期 C/N 值的变化与 C、N 率相反,它随着生育的进展而逐渐提高,其中叶片变化较小而茎、鞘则变化较大,尤其是齐穗期后茎的 C/N 值提高最为突出,乳熟末期茎的 C/N 值甚至达到 110 以上。说明,这时茎秆中所贮藏的养分已基本上向穗部输送完毕。

3. 光合效率与叶片生理性状的相关性

由相关分析(见表 4)看到, CGR 与叶 N 率、SLW(比叶重)关系密切,均呈显著正相关。NAR 与叶 N 率、SLW 其相关程度虽然不显著但它们之间正相关系数也都比较高,接近显著

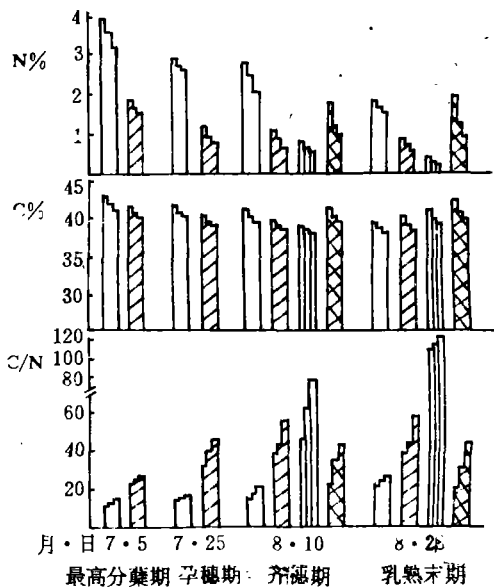


图 3 不同产量田水稻各器官的 N、C 率比较水平。说明 CGR、NAR 与比叶重和含 N 率的变化趋势相一致。SLW 与叶 N 率之间单相关呈

极显著的负相关,偏相关呈接近显著,说明叶N率对叶片的厚度影响很大。至于CGR、NAR与C率、C/N值之间的关系均有负效应。在N、C率之间,叶C率与叶绿素之间都呈微度的正相关,说明在水稻各生育期N、C是相互协调发展的。

表4 光合效率与叶片生理性状的相关性

	NAR	SLW	叶N%	叶C%	C/N	叶绿素	CGR
NAR		0.3972	0.3377	-0.2194	-0.0326	0.1965	0.2302
SLW	0.2173		-0.8731**	0.1248	0.1806	0.5454*	0.5457*
叶N%	0.4133	-0.5928		-0.3103	-0.4139	0.5708*	0.5954*
叶C%	-0.4202	0.0829	-0.0498		0.8161**	0.3966	-0.0138
C/N	-0.0683	0.2923	-0.4142	0.7105*		0.4152	-0.0511
叶绿素	0.1665	0.2460	0.2200	0.1155	0.0111		0.1263
CGR	0.6895*	0.1091	0.6139*	0.1399	-0.2380	0.3084	

注:上三角为单相关系数; $r_{0.05,14}=0.497$; $r_{0.01,14}=0.623$

下角为偏相关系数; $R_{0.05,9}=0.602$; $R_{0.01,9}=0.735$

综上所述,光合生产中叶N率是最活跃的因子,其次是比叶重与叶绿素含量,即SLW与叶绿素含量越高光合效率亦越大。含N率与含C率之间有着相辅相成协调发展的制约关系。

(三)高产水稻各时期的N素诊断指标

为明确高产水稻各生育时期的最佳叶N率及叶绿素含量,对试验结果进行了多项回归分析,结果列于表5、表6。从方程中可以看到,叶N率、叶绿素含量与生产量均呈单峰曲线。并且F值达显著或极显著水准,说明与所选配的方程相符合。根据上述方程的计算值与我们多年的观测资料,现提出叶色、叶N量与叶绿素含量相配套的高产水稻各时期N素诊断指标。

以藤系138为例,该品种在有效分蘖终止期功能叶片(倒2叶,8%)的叶绿素含量应在

表5 各时期叶氮量与产量的回归方程及最适氮值

时 期	回 归 方 程	F 值	最适值(mg/g)
有效分蘖终止期	$y = -6197.2 + 3220.43x - 362.53x^2$	7.185	4.442
最高分蘖期	$y = -2063.1 + 1639.75x - 221.52x^2$	3.687	3.701
孕 穗 期	$y = -4509.7 + 3593.05x - 590.70x^2$	2.223	3.041
齐 穗 期	$y = 481.202 + 352.35x - 68.72x^2$	6.012	2.564
乳 熟 期	$y = 732.20 + 215.66x - 55.49x^2$	12.217	1.943

注: $F_{0.05}=4.75$, $F_{0.01}=9.33$, $N=12$

表6 各时期叶片叶绿素含量与产量的回归方程及最适叶绿素值

时 期	回 归 方 程	F 值	最适值(mg/g)
有效分蘖终止期	$y = -790.42 + 1559.84x - 753.05x^2$	7.44	1.036
最高分蘖期	$y = -47.9 + 169.6x - 110.42x^2$	4.18	0.768
孕 穗 期	$y = -168.04 + 373.11x - 187.7x^2$	6.93	1.021
齐 穗 期	$y = 727.68 - 23.63x - 12.62x^2$	9.88	0.936
乳 熟 期	$y = 357.99 - 54.9x - 21.56x^2$	17.40	1.259

注: $F_{0.05}=4.74$, $F_{0.01}=9.55$, $N=10$

(下转第52页)

极显著程度。从处理1与处理2水稻产量间差异小于 $LSD_{0.05}$ 显著平准的结果看出,钾肥对水稻并未表现出增产效果。而硫在氮、磷、钾肥的基础上,对水稻则表现出极明显的增产效果,表9内施硫各处理(1—3)的水稻产量均极显著的好于无硫处理(4),绝对增产幅度为1 612.5—2 062.5公斤/公顷,相对增产幅度为28.1—35.9%。

结 语

通过对公主岭市黑土和冲积型水稻土中十种营养元素的温网室调查看出,两种土壤均不同程度的缺乏氮、磷、钾和硫。硫在氮、磷、钾肥平衡施用基础上,丰年气候条件下,对黑土大田旱作玉米没表现出增产效果;而对砂质水田土上的水稻,则表现出极明显的增产效果。在公主岭市冲积型水稻土上,公顷施硫肥192公斤,增产水稻1 612.5—2 062.5公斤/公顷。“硫”对水稻的增产效果,在吉林省尚属首次发现。因此,拟定今后进行更加广泛与深入的试验研究。

(上接第19页)

1.0mg/g·鲜重左右,此时相应的叶N量在4~4.5%,叶色为4级;在最高分蘖期功能叶片(10/0)的叶绿素含量在0.8mg/g·鲜重左右,相应的叶N量在3.6~3.8%,叶色为3.5级左右;孕穗期经追肥后功能叶片(12/0)的叶绿素含量应上升到0.9~1.0mg/g·鲜重,含氮量在3%至3.5%以下,叶色为4.5~5级;齐穗期剑叶叶绿素含量应在0.9mg/g·鲜重左右,叶N量在2.5~3%,叶色为4~4.5级;到了乳熟期剑叶的叶绿素含量在经过追施粒肥后,仍保持在1.0mg/g·鲜重左右,叶N量在2.5%,叶色在4级左右。如果叶绿素含量、叶N量及叶色低于此值时应及时追施氮肥。

结 论 与 讨 论

(一)水稻干物质的生产与积累在孕穗期至齐穗期间最快,最高分蘖期至孕穗期次之,再次齐穗期至乳熟末期,呈“S”曲线。高产田(A区)的LAI和干物日增长量的升降很平稳,且始终高于一般田。不同产量田的叶片、叶鞘的 m^2 干重在最高分蘖期前差异较小,而孕穗期之后其差异越来越大,且产量越高,各器官的干重越重则齐穗期后向穗部的干物转移时也越多。

越是高肥区孕穗期及齐穗期的鞘叶比重(鞘与叶的干重之比)越低,且结实率、谷/草、千粒重也较低。

(二)在水稻生育期间叶片N、C率是随着生育的进展而逐渐下降;而C/N值则依次递增;叶绿素含量在最高分蘖期较低,孕穗期回升,齐穗期至乳熟期保持较高水平。C/N值的大小主要取决于含N率。

(三)高产田各时期的叶片、叶鞘、茎和穗的含N和含C率始终高于一般田。水稻各器官的含N和含C率的高低均与光合产物分配中心的转向相一致。

(四)CGR、NAR与SLW和含N率的变化趋势相一致。在光合生产过程中,叶N率是最活跃的因子,SLW和比叶重次之。因此,欲想提高光合率首先应从N肥上下功夫。

提出了叶色,叶N量与叶绿素含量相配套的N素诊断指标。

参 考 文 献

- [1]中国农科院主编:《中国稻作学》,农业出版社,P656。
- [2]曹静明等:崔竹松水稻高产技术经验的初步分析,Ⅲ.《作物学报》,1965,4(1)。
- [3]金润植、安东文等:水稻安全高产栽培技术研究(阶段总结),《延边农学院学报》,1989,2。