

氮肥对不同海拔地区种植的水稻开花 前后饲喂的¹⁴C最终分配的影响*

李存信 林德辉

(中国科学院昆明植物研究所, 昆明650204)

摘要 本文对不同海拔地区不同施肥方式(基肥/穗肥比例)下种植的水稻于开花前后饲喂的¹⁴C最终在营养体和米及谷壳中的分配比例作了比较, 表明不同海拔地区和不同施肥方式造成的孕穗期饲喂的¹⁴C最终在营养体的百分数取决于营养体大小($r=0.9449$); 灌浆期饲喂的¹⁴C最终在米中分配的百分数取决于库/源比($r=0.9503$)。

关键词 水稻; 氮肥; ¹⁴C的分配

EFFECT OF NITROGENOUS FERTILIZER ON FINAL PARTITIONING OF THE ¹⁴C FED BEFORE AND AFTER FLOWERING OF PADDY RICE GROWN AT DIFFERENT ALTITUDE LOCALITIES

Li Cunxin, Lin Dehui

(*Kunming Institute of Botany, Academia Sinica, Kunming 650204*)

Abstract The paddy rice in the field experiment, grown at three different altitude localities, viz. Yuanjiang (north tropic type about 400 m altitude), Yuxi (middle subtropics type about 1600 m altitude) and Dali (north subtropics type about 2000 m altitude) in Yunnan province in 1988, had been fed with the ¹⁴C to the paddy rice to have been treated with different levels of nitrogenous fertilizer, during the booting and grain filling stage, respectively. All the samples of the aerial plant parts had been collected at the yellow ripe stage, and divided into vegetative mass (included leaves, leaf sheath, stem, ear axis and pedicel and its dieback parts), rice and chaff, and then determined dry weight and specific activity of the ¹⁴C, respectively, and that the percentages of the ¹⁴C in each part had been calculated by dry weight. The main results are as follows:

1. Final partitionings of the ¹⁴C fed at the booting stage occur mainly in the vegetative mass and the chaff. The ¹⁴C-percentage of final partitioning in the vege-

tative mass is positive correlation ($r=0.9449$) to the percentage of final vegetative mass made up total dry weight. the chaff competes with the vegetative mass for the assimilate at the booting stage, final partitioning ratio of the ^{14}C in the chaff is contrary to the partitioning ratio in the vegetative mass, the nitrogen application creates larger vegetative mass; the ^{14}C -percentage of final partitioning in the vegetative mass is higher, too. When the paddy rice grown at high altitude-localities compared to those grown at low altitude-localities, under the same way of nitrogen application, the ratio of the ^{14}C in the vegetative mass is higher, too, because there is higher percentage in the vegetative mass.

2. Because the ability to assemble carbohydrate has not yet formed at the booting stage, final partitioning in rice of the ^{14}C fed in this stage may be considered that assimilate accumulated in the vegetative mass before flowering had been repartitioning towards the grain after flowering. The final partitioning of the ^{14}C fed to paddy rice at the booting stage, grown at low heat localities, is positive correlation with seed-setting numbers per unit leaf area at the grain filling stage, but the above described relations weaken in the paddy rice grown at the planting site of high altitude, and final partitioning ratio of the ^{14}C in rice increases with the increase in ratio of ear manuring. It will be shown that when the grain of paddy rice assembles carbohydrate assimilated before flowering at high altitude-localities, it is subjected to combined regulation of the sink size and activity.

3. Final partitionings of the ^{14}C fed at the grain filling stage occur mainly in rice, the percentages of final partitioning in rice depend mainly on seed-setting numbers ($r=0.9503$) per unit leaf area at this time. The application of nitrogenous fertilizer increased in final percentage of the ^{14}C in the vegetativ mass, the larger the ear manuring ratio and the higher the altitude are, the larger the final percentages of the ^{14}C occur in the vegetative mass.

Key words Paddy rice; Nitrogenous fertilizer; Partitioning of the ^{14}C

通过施用氮肥调节水稻的生长发育是水稻生产中的根本技术之一〔1〕。氮素对水稻的影响是多方面的,既影响其营养生长,如促进叶片生长和增加分蘖,也增加每穗的粒数〔2〕;同时也影响水稻的干物质生产和分配〔3〕。此外,茎和叶鞘中碳水化合物的累积和在开花前累积于茎和叶鞘中的碳水化合物对籽粒灌浆的贡献也对氮肥发生反应〔4,5〕。另一方面,水稻的生长发育和籽粒产量对氮肥的反应又受生境和季节的影响〔6,7〕。

一般认为,施用氮肥时,因增加营养体的大小占用较多的碳水化合物而减少水稻茎和叶鞘中的淀粉和糖含量〔4〕,并减少开花前在茎和叶鞘中积累的碳水化合物对籽粒灌浆的表观贡献〔5〕。但在较高海拔地区种植的水稻中却又因施氮而增加了黄熟期茎和叶鞘中的淀粉含量〔4〕。但在不同生境中直接比较同化物分配对氮肥反应的消息却十分缺乏。而光合产物在作物体内的分配却是和光合作用本身一样,是决定谷物生产的重要因素〔8〕。

本工作的目的即在于直接比较不同海拔地区种植的水稻中,开花前后饲喂的 ^{14}C ,

最终在营养体和籽粒间的分配对不同供氮方式的反应及其与水稻体内的一些因素的关系。

环境、材料和方法

本实验在云南省元江（海拔约400米），玉溪（约1600米）和大理（约2000米）三地的田间进行。各地的地理位置和主要气象因素，各地供试品种，常规观测以及¹⁴CO₂的饲喂方法、时间、采样、分析技术和计算方法均已在前面详述^[9]。

氮肥处理如下：1.无肥区（CK）；2.氮肥全部作基肥在栽插前一次施入（一次清）；3.氮肥总用量的80%作基肥于栽插前施入（以下同），20%作穗肥施（8：2）；4.总用量的70%作基肥，30%作穗肥（7：3）；5.总用量的60%作基肥，40%作穗肥（6：4）；6.总用量的50%作基肥，50%作穗肥（5：5）。元江点无（5：5），大理点无（8：2）。试验小区均不施有机肥，以尿素为唯一的氮肥。小区隔埂包以塑料薄膜防止氮肥渗透。结合三地试验田土壤肥力。元江（土壤水解氮14.45毫克/100克土）总用量为每亩20kg尿素，玉溪（土壤水解氮8.07毫克/100克土）为每亩30 kg，大理（土壤水解氮16.13毫克/100克土）为每亩15 kg。穗肥施用期为：元江在减数分裂期，玉溪在颖花分化期，大理在幼穗分化——颖花分化期^[12]。

结果和讨论

首先比较一下孕穗期饲喂的¹⁴C在不同海拔地区 and 不同施氮处理时最终分配的情形。结果见表1。

表1 不同地区种植的水稻中不同供氮下于孕穗期饲喂的¹⁴C最终分配和营养体干重%
Table 1 Final partitioning of the ¹⁴C fed at the booting stage and the percentage of dry weight in the vegetative mass of paddy rice grown at different localities and under different ways of nitrogen application

处理	元江				玉溪				大理			
	¹⁴ C %		营养体		¹⁴ C %		营养体		¹⁴ C %		营养体	
	营养体	谷壳	米	干重%	营养体	谷壳	米	干重%	营养体	谷壳	米	干重%
CK	25.2	59.0	15.8	36.9	40.9	45.1	14.0	42.3	48.4	44.5	7.1	45.0
一次清	38.0	49.4	12.6	43.3	44.4	43.1	12.5	46.1	56.6	37.7	5.7	55.1
8：2	37.4	49.1	13.5	43.2	45.6	39.0	15.4	46.1	—	—	—	—
7：3	41.2	46.1	12.1	44.8	46.3	38.4	15.2	46.5	56.3	37.8	5.9	53.3
6：4	45.5	43.1	11.3	45.9	51.1	35.7	13.2	46.7	55.3	38.7	6.0	50.5
5：5	—	—	—	—	51.9	33.1	15.0	49.5	55.8	37.0	7.2	51.3

从表 1 可以看出, 不论以何种方式供氮 (一次性基肥施用或按不同比例分基肥和穗肥两次施用), 均使孕穗期饲喂的 ^{14}C 最终在营养体分配的百分数增加。在同一施肥比例处理下随种植地海拔增高最终在营养体中分配的百分数总是较高的。不同基肥与穗肥比例的各处理间在低和较低海拔种植的水稻中因穗肥比例增加, 在营养体中最终 ^{14}C 百分数也增加, 但高海拔地区的差异不明显, 而且随穗肥比例加大还略有下降。但总的来看, 此期饲喂的 ^{14}C 最终在营养体中分配的百分数和最终营养体干重占总干重的百分数为正相关 ($r = 0.9449$) (图 1)。这无疑是因为建造较大的营养体用去了较多的开花前的同化物之故。

由表 1 和图 1 还可看出, 随种植地海拔增高, 各处理间 ^{14}C 在营养体间的分配百分数的差异缩小, 或者可以说在高海拔地区的水稻中孕穗期饲喂的 ^{14}C 在营养体的最终分配对氮肥反应不如低海拔地区的敏感。这可能和 De Datta 等^[7]所指出的水稻对氮肥的反应在湿季比干季低有类似之处。即高海拔种植地的低温寡日气候使水稻对氮肥的反应比高温强光下的低热地区种植的水稻对氮肥反应更弱些。

在孕穗期还有一个和营养体平行的主库——颖壳。从表 1 可以看出籽粒中的 ^{14}C 主要集中在壳中, 米中很少。因为此时尚未开花, 米并无接受碳水化合物的能力。因此, 孕穗期饲喂的 ^{14}C 进入米是开花后才发生的事件。由此可以认为在孕穗期只有营养体和壳在竞争光合同化物。那么, 最终在营养体和壳中分配的孕穗期饲喂的 ^{14}C 百分数就是二者竞争开花前同化物的结果。表 1 明显地表明孕穗期饲喂的 ^{14}C 最终在营养体中多时, 在壳中则少。

孕穗期饲喂的 ^{14}C 最终在米中的分配比例在不同海拔种植地的各氮肥处理间的情形比较复杂。在低海拔地区种植的水稻中取决于不同氮肥处理造成的灌浆期的库/源比(单位叶面积的实粒数)。但在高海拔地区种植的水稻中却因穗肥比例增大而增加 (如大理), 而和库/源比是弱相关。这可能和高海拔地区水稻灌浆期较低的气温 (约 18°C) 降低了籽粒的生理活性, 而追施穗肥可以改善其生理活性, 从而使籽粒对开花前累积的同化物的调集更强有力些。由此我们认为高海拔地区种植的水稻对开花前同化物的提取受籽粒生理活性和相对于源的库大小两者的联合调节。而低海拔地区种植的水稻其灌浆期正值高温, 无生理活性的限制, 提取开花前的同化物主要相对于源的库大小的控制。

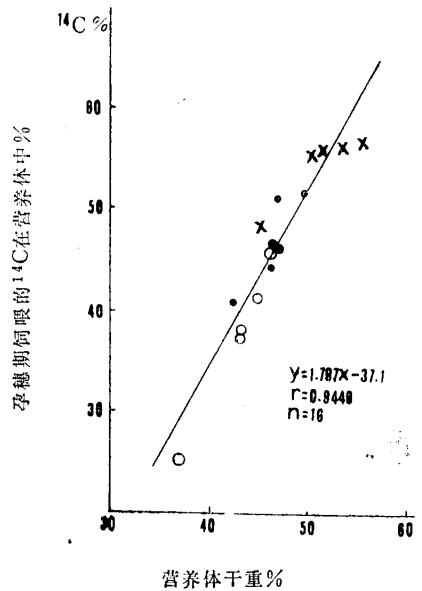


图 1 孕穗期饲喂的 ^{14}C 在营养体中的最终分配百分数与营养体占总干重百分数的关系

Fig. 1 Relationship between the percentage in the vegetative mass of final partitioning of the ^{14}C fed at the booting stage and the percentage of vegetative mass made up total dry weight
×大理 ●玉溪 ○元江

水稻灌浆期只有一个主库^[10]，即籽粒，实际上是米。表 2 表明灌浆期饲喂的¹⁴C 最终主要分配在米中。其对氮肥的反应是供氮时减少¹⁴C 在米中的最终分配比例，且因穗肥比例加大，减少更甚。相反，由于供氮增加了最终在营养体中的¹⁴C 百分数，这和氮肥对齐穗期到黄熟期于物质生产和分配的影响一致^[11, 12]。颖壳在灌浆中的作用既可作“源”又可作“库”起作用，但作为“源”其能力远远低于营养体，而作为“库”其能力和米相比又微不足道^[13]，由此，灌浆期饲喂的¹⁴C 在壳中最终也是最低的。

表 2 不同地区种植的水稻在不同供氮下灌浆期饲喂的¹⁴C 的最终分配和灌浆期库/源比*

Table 2 Final partitioning of the ¹⁴C fed at the grain filling stage and the sink/source ratio at this time, in paddy rice grown at different localities and under different ways of nitrogen application

处	元 江						玉 溪						大 理					
	¹⁴ C%		千实	叶面	库/源		¹⁴ C%		千实	叶面	库/源		¹⁴ C%		千实	叶面	库/源	
理	营养	谷壳	米	粒数	积指		营养	谷壳	米	粒数	积指		营养	谷壳	米	粒数	积指	
	体		/米 ²	数	数	比	体		/米 ²	数	数	比	体		/米 ²	数	数	
CK	7.8	6.5	85.7	19.01	1.02	18.6	11.2	11.2	77.6	22.57	2.18	10.4	12.2	10.6	77.2	29.97	3.05	9.8
一次清	10.9	6.6	82.4	26.49	1.92	13.8	14.9	11.2	72.9	27.66	3.63	7.6	15.5	14.3	70.2	42.20	5.79	7.3
8 : 2	9.9	6.9	83.2	31.19	2.09	14.9	14.0	14.6	71.4	32.02	4.27	7.5	—	—	—	—	—	—
7 : 3	12.3	9.3	78.4	24.88	1.84	13.5	15.9	14.4	69.7	33.34	4.56	7.3	16.5	14.9	68.6	37.68	5.86	6.4
6 : 4	13.8	6.0	80.2	27.73	1.94	14.3	15.4	14.1	70.5	36.97	4.72	7.8	16.9	12.5	70.6	38.78	5.58	6.9
5 : 5	—	—	—	—	—	—	20.6	14.1	65.3	36.12	5.38	6.7	17.8	16.0	66.2	35.00	5.43	6.45

* 库/源比 = 千实粒数/叶米²

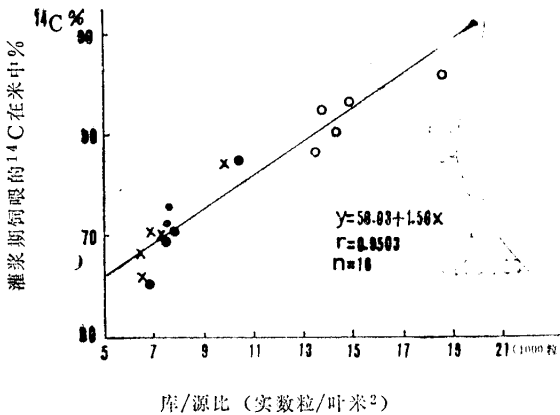


图 2 灌浆期饲喂的¹⁴C 在米中的最终分配百分数与库/源比的关系

Fig. 2 Relationship between the percentage in rice of final partitioning of the ¹⁴C fed at the grain filling stage and sink/source ratio

× 大理 ● 玉溪 ○ 元江

最终在主库米中的灌浆期饲喂的 ^{14}C 的分配比例受灌浆期的库/源比(单位叶面积的实粒数)控制。在图2中,我们把二者作了简单线性回归分析。图2表明二者有极显著的相关性($r = 0.9503$),另外,从表2可以看出,在同一施肥方式下,灌浆期饲喂的 ^{14}C 最终在米中分配的百分数基本上是随种植地海拔增高而减少,这和穗肥比例增大最终在米中的百分数减少一样都是因较大的叶面积降低了库/源比之故。鉴于施用氮肥和种植地海拔增高都是通过库/源比的改变而影响 ^{14}C 最终在米的分配(包括开花前累积的)。因此可以认为灌浆期饲喂的 ^{14}C 最终的分配是该期籽粒生长和营养体(特别是叶)保持活性之间平衡的结果。

就我们所得的资料而论,虽然无肥区水稻的米中具有最大的 ^{14}C 百分数,但这主要是由于后期缺氮引起叶片早衰造成灌浆期很小的叶面积而有特大的库/源比所致。由于水稻籽粒所需的碳水化合物主要来自开花后的光合产物^[5]。灌浆期太小的叶面积绝非争取高产所希望的,但保持太大的叶面积又有“贪青”之弊。因此从调整库/源比的角度来看,不同海拔种植地水稻采用不同穗肥,可以使在种子生长和保持源活性之间达到较好的效果,进而改善灌浆期同化物向籽粒的运输,并取得较好的产量。具体地说,在低热地区的双季早稻上,以总用肥量的20%左右作穗肥施用,而随海拔增高则应加大穗肥所占比例,如在1500—2000米左右的稻区,穗肥可以占到总用氮量的30—40%,均可取得相对好的效果。

参 考 文 献

- 1 田中 稔(1975). 水稻的生理生态. 上海科技出版社, 1981: 218—228.
- 2 Von Vexkull H R. 作物高产施肥技术. 科技文献出版社重庆分社, 1980: 1—67.
- 3 李存信, 林德辉. 云南植物研究 1987; 9(1): 89—95
- 4 林德辉, 李存信. 云南植物研究 1988; 10(1): 87—92
- 5 Yoshida S, Ahn S B. *Soil Sci and Plant Nutri* 1968; 14: 153—161
- 6 Tanaka A. et al. *IRRI Tech Bull* 1964; 3, 80
- 7 De Datta S K. et al. *Agronomy J* 1968; 60: 643—647
- 8 Evans T. In "Photosynthesis and productivity in different environments" 1975; 501—507
- 9 李存信, 林德辉. 云南植物研究 1990; 12(2): 191—196
- 10 沈巩懋. 农业学报 1960; 11(1): 30—40
- 11 李存信, 林德辉. 云南植物研究 1988; 10(3): 305—310
- 12 李存信, 林德辉. 云南植物研究 1988; 10(4): 403—408
- 13 Sasahara T. 日作记 1981; 50(3): 253—261