

不同时期不同施氮量对糙米蛋白质 积累影响的初探*

刘 强 罗泽民 荣湘民 黄见良
黄启为 杨钟培 陈勇跃

(湖南农业大学, 长沙 410128)

摘 要 采用土培试验和 ^{15}N 示踪技术研究了高产施肥条件下 4 个时期不同施氮量与水稻糙米蛋白质含量的关系。结果表明, 孕穗期施氮最有利于糙米蛋白质的积累, 糙米 ^{15}N 蛋白氮占施用 ^{15}N 的比例达 36.15%, 插植前施氮次之, 分蘖期和乳熟期施氮效果较差。当其它 3 个时期施氮量一定时, 某个时期的 ^{15}N 施量与糙米 ^{15}N 蛋白氮含量呈极显著的直线相关, 但 4 个时期的施氮总量与糙米蛋白氮总量却呈一元二次抛物线关系, 其原因是过量施氮使糙米产量和糙米中蛋白质含量下降。

关键词 ^{15}N , 氮肥, 施肥时期, 施肥量, 糙米, 蛋白质

中国分类号 S143.1

我国南方主产稻区普遍存在早稻出售困难, 大量积压的问题, 除努力提高早稻品质外, 将早稻部分代替玉米, 作为牲猪等家畜饲料, 是解决这一问题的另一可能途径。稻米型饲料能否得以推广的关键是提高糙米蛋白质的含量, 使之达到或接近玉米蛋白质含量水平。当前, 除品种改良外, 科学施用氮肥仍是提高糙米蛋白质含量的有效途径。因此, 全面地研究不同时期不同施量的氮肥对糙米蛋白质积累的影响具有重要意义。国内外对水稻施用氮肥、特别是中后期施用氮肥对增加籽粒氮的积累有不少报道^(1,2), 但施氮对糙米蛋白质形成的作用研究较少。采用 ^{15}N 示踪技术进行水稻氮素营养的研究也开展了一些工作, 但一般设计的处理较少, 难以全面地了解不同时期不同施量的氮肥与水稻氮素营养的关系, 且大多数 ^{15}N 试验侧重于对水稻体内不同部位的分布以及氮肥利用率的研究^(3~5), 以 ^{15}N 示踪技术研究糙米蛋白质形成的报道尚不多见。本研究采用 ^{15}N 示踪技术, 通过较为完整的试验设计, 探讨不同时期不同施量的氮肥对糙米蛋白质积累的影响, 为饲料稻的合理施氮提供科学依据。

* 国家科委“九五”重点资助项目, 编号“95-01-01”

收稿日期: 1999-04-04; 收到修改稿日期: 1999-11-07

1 材料与方

1.1 供试材料

土壤: 湖南农业大学教学实验场红黄泥。其基本理化性状为: 有机质 23.8g/kg, 全氮(N) 1.40g/kg, 全磷(P) 1.15g/kg, 全钾(K) 16.71g/kg, 水解性氮(N) 145.3mg/kg, 有效磷(P) 80.4mg/kg, 缓效钾(K) 162.6mg/kg, 速效钾(K) 65.3mg/kg, 水浸 pH5.8。

氮肥: ^{15}N 尿素, 含氮 46%, 丰度 21.94%, 化工部上海化工研究院生产。普通尿素, 含氮 46%, 日本进口。

早稻: 三系杂交组合威优 56, 1997 年 3 月 30 日播种, 5 月 3 日移栽, 7 月 19 日收获, 全生育期 111 天。

1.2 试验设计

将湖南杂交早稻高产施氮量(大田总施氮量 $\text{N}187.5\text{kg}/\text{hm}^2$)和施氮比例(基肥:分蘖肥;穗肥:粒肥 = 4:3:2:1)作为施氮的基本模式。设施氮时期和施氮量两个因子, 施氮时期分基肥、分蘖肥、穗肥、粒肥 4

表1 试验方案
Table 1 The experiment scheme

组别 Group	处理 Treat- ment	施氮量 Total N application (N, kg/hm^2)	各时期施氮量 (基肥+分蘖肥+穗肥+粒肥) N application in field at different stages (N, kg/hm^2)	盆栽实际施氮量 (基肥+分蘖肥+穗肥+粒肥) N application in soil cultivation at stages (N, g/pot)
	1	112.5	0+56.25+37.50+18.75	0+0.325+0.217+0.109=0.651
	2	150.0	37.5*+56.25+37.50+18.75	0.217*+0.325+0.217+0.109=0.868
1	3	187.5	75.0*+56.25+37.50+18.75	0.433*+0.325+0.217+0.109=1.084
	4	225.0	112.5*+56.25+37.50+18.75	0.650*+0.325+0.217+0.109=1.301
	5	262.5	150.0*+56.25+37.50+18.75	0.867*+0.325+0.217+0.109=1.518
	6	131.3	75.0+0+37.50+18.75	0.433+0+0.217+0.109=0.759
	7	159.4	75.0+28.13*+37.50+18.75	0.433+0.162*+0.217+0.109=0.921
2	8	187.5	75.0+56.25*+37.50+18.75	0.433+0.325*+0.217+0.109=1.084
	9	215.6	75.0+84.38*+37.50+18.75	0.433+0.488*+0.217+0.109=1.247
	10	243.8	75.0+112.50*+37.50+18.75	0.433+0.650*+0.217+0.109=1.409
	11	150.0	75.0+56.25+0+18.75	0.433+0.325+0+0.109=0.867
	12	168.8	75.0+56.25+18.75*+18.75	0.433+0.325+0.109*+0.109=0.976
3	13	187.5	75.0+56.25+37.50*+18.75	0.433+0.325+0.217*+0.109=1.084
	14	206.3	75.0+56.25+56.25*+18.75	0.433+0.325+0.325*+0.109=1.192
	15	225.0	75.0+56.25+75.00*+18.75	0.433+0.325+0.433*+0.109=1.300
	16	168.8	75.0+56.25+37.50+0	0.433+0.325+0.217+0=0.975
	17	178.1	75.0+56.25+37.50+9.38*	0.433+0.325+0.217+0.054*=1.029
4	18	187.5	75.0+56.25+37.50+18.75*	0.433+0.325+0.217+0.109*=1.084
	19	196.9	75.0+56.25+37.50+28.13*	0.433+0.325+0.217+0.162*=1.137
	20	206.3	75.0+56.25+37.50+37.50*	0.433+0.325+0.217+0.217*=1.192

注: “*” 号者为 ^{15}N 尿素的施氮量

个组,每组内以该时期高产施氮量为基准设 0%、50%、100%、150%、200% 5 个水平,各组内 5 水平的平均施氮量均为 $187.5\text{kg} / \text{hm}^2$,不同施氮量采用 ^{15}N 标记。完全方案,共 20 个处理(表 1)。重复三次,随机区组排列。

1.3 试验方法

采用土培试验。选用 $20\text{cm} \times 30\text{cm}$ 瓷质培养盆,内盛过 1cm 筛的干土 6.5kg。P、K 肥作底肥,按大田 $\text{P}_2\text{O}_5 105\text{kg} / \text{hm}^2$ 、 $\text{K}_2\text{O} 180\text{kg} / \text{hm}^2$ 于装盆时一次施下。N、P、K 施用量均按大田施用量(以土重计)的 2 倍计算,即每盆施无水 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) 21.00\text{g}$ 、 $\text{KCl} 1.73\text{g}$,尿素施用量因各处理不同而异(表 1)。氮肥施用时间和方法为:基肥在装盆时与 P、K 同时施下,分蘖肥于移栽后 11 天(5 月 14 日)结合中耕施下,穗肥于移栽后 37 天(6 月 9 日,落干复水后 3 天)结合中耕施下,粒肥于移栽后 56 天(6 月 28 日,齐穗后 3 天)用 1.5% 的尿素水溶液叶面喷施。每盆 3 茺,每茺 2 株。

1.4 测定方法

^{15}N 采用质谱分析法于河北农林科学院理化所测定。蛋白质采用三氯乙酸沉淀、 H_2SO_4 消化、凯氏法测定。各指标均重复 3 次。

2 结果与讨论

2.1 施氮量对糙米蛋白质含量的影响

将各处理 3 次重复的糙米产量和 ^{15}N 含量平均后列于表 2。可以看出,无论是作为基肥、分蘖肥,还是作为穗肥、粒肥,随着 ^{15}N 施用量的增加,糙米中 ^{15}N 蛋白氮的相对含量(^{15}N , mg / gDW)和绝对含量(^{15}N , g / pot)均呈现成比例增加的趋势。相关和回归分析的结果表明(表 3),各组内 ^{15}N 施用量与糙米中 ^{15}N 蛋白氮相对含量和绝对含量的直线相关性均达 1% 极显著水平。这说明施氮对糙米蛋白质的形成和积累有极为重要的作用,对于某个时期而言,施氮量增加,则此时期施入的氮进入糙米蛋白质中的量呈比例增加。

由于每一处理只有一个时期施氮量不同,其余三个时期均按高产施氮模式施氮,故还应考虑四个时期施氮对糙米蛋白质积累的综合作用。将组内各个处理的施氮总量与糙米中蛋白氮含量(表 2)进行回归分析,得到的结果见表 4。可以看出,各组内处理施氮总量与糙米中蛋白氮总量的回归关系基本上呈一元二次抛物线形式,四个方程中,除第四组的方程外,其余三个组的方程均达 1% 极显著水平。

为何 ^{15}N 施用量与糙米 ^{15}N 蛋白氮呈线性关系,而施氮总量与糙米蛋白氮总量却呈一元二次抛物线关系呢?究其原因,主要有二。一是糙米产量随施氮量的增加而呈先升后降的抛物线趋势,其最高产量一般出现在各组的第三或第四水平;二是蛋白氮相对含量也呈现类似的抛物线形式,最高相对含量均出现在各组的第四水平(表 2)。这是因为各组内的 5 个水平是按高产施氮量的 0%、50%、100%、150%、200% 设计的,过量施氮会使碳氮代谢失调,导致糙米产量下降;同时,糙米中的蛋白质含量是受遗传基因控制的,虽然在一定范围内施氮会使糙米蛋白质含量线性增加,但达到一定量后超量施氮,其蛋白质含量只会稳定在一定水平,多余的氮素无法在糙米蛋白质中得到体现。

2.2 施氮时期对糙米蛋白质含量的影响

不同时期施氮对糙米蛋白氮的影响是不同的。表 3 中 ^{15}N 施用量与糙米中 ^{15}N 蛋白氮

表2 各处理糙米产量、糙米中¹⁵N蛋白氮和蛋白氮含量Table 2 Yield of brown rice, contents of ¹⁵N protein N and total protein N in brown rice

组别 Group	处理 Treat- ment	糙米产量 Yield of brown rice (g/pot)	¹⁵ N蛋白氮 ¹⁵ N pro-N			蛋白氮Total pro-N		¹⁵ N蛋白氮 占蛋白氮 Ratio of ¹⁵ N pro-N to total pro-N(%)
			相对含量 Relative content (mg/gDW)	绝对含量 Absolute content (g/pot)	占施用 ¹⁵ N Ratio to applied ¹⁵ N (%)	相对含量 Relative content (mg/gDW)	绝对含量 Absolute content (g/pot)	
	1	39.80	0	0	—	18.43	0.7335	0
	2	46.67	1.56	0.0728	33.55	19.34	0.9026	8.07
1	3	51.11	3.19	0.1630	37.64	19.39	0.9910	16.45
	4	49.39	4.42	0.2183	33.58	20.80	1.0273	21.25
	5	49.94	5.78	0.2287	33.30	19.13	0.9554	30.22
	6	45.18	0	0	—	18.56	0.8385	0
	7	45.92	0.82	0.0377	23.23	19.98	0.9175	4.11
2	8	49.11	1.70	0.0835	25.69	20.11	0.9876	8.45
	9	50.53	2.10	0.1061	21.74	20.15	1.0182	10.42
	10	50.15	3.21	0.1610	24.77	20.05	1.0055	16.01
	11	44.36	0	0	—	18.53	0.8220	0
	12	47.39	0.77	0.0365	33.49	19.88	0.9421	3.87
3	13	51.00	1.63	0.0831	38.29	19.87	1.0134	8.20
	14	51.18	2.26	0.1157	35.60	20.16	1.0318	11.21
	15	50.05	3.12	0.1612	37.23	20.15	1.0085	15.98
	16	45.65	0	0	—	18.71	0.8541	0
	17	46.18	0.20	0.0092	17.04	19.16	0.8848	1.04
4	18	47.83	0.48	0.0230	21.10	19.68	0.9413	2.44
	19	50.52	0.75	0.0379	23.40	19.84	1.0023	3.78
	20	50.21	0.98	0.0492	22.67	19.66	0.9871	4.98

注:表中数据为3重复的平均值

表3 ¹⁵N施用量与糙米¹⁵N蛋白氮的回归关系Table 3 The regressive relation between ¹⁵N application and ¹⁵N protein N in brown rice

组别 Group	¹⁵ N施用量与糙米 ¹⁵ N蛋白氮相对含量	¹⁵ N施用量与糙米 ¹⁵ N蛋白氮绝对含量
	¹⁵ N application (x , ¹⁵ N g/pot) and relative content of ¹⁵ N pro-N (y , ¹⁵ N mg/g DW) in brown rice	¹⁵ N application (x , ¹⁵ N g/pot) and absolute content of ¹⁵ N pro-N (y , ¹⁵ N g/pot) in brown rice
1	$y=0.106+6.654x$ $r=0.999$	$y=0.0040+0.3336x$ $r=0.997$
2	$y=0.027+4.735x$ $r=0.993$	$y=-0.0004+0.2401x$ $r=0.994$
3	$y=0.007+7.144x$ $r=0.999$	$y=-0.0012+0.3712x$ $r=0.999$
4	$y=-0.020+4.631x$ $r=0.999$	$y=-0.0016+0.2345x$ $r=0.997$

注: $r_{0.05}=0.879$, $r_{0.01}=0.959$

相对含量和绝对含量的直线回归系数因施用时期而异,第3组最大,为7.149和0.3712,第1组次之,为6.654和0.3336,第4组最小,仅为4.631和0.2345,表明在本试验施氮范围

表4 施氮总量(X, N g/pot)与糙米蛋白氮总量(Y, N g/pot)的回归关系Table 4 The regressive relation between total N application (X, N g/pot) and total protein N (Y, N g/pot) in brown rice

组别 Group	回归方程 Regression equation	F	Y_{max} ($N, g/pot$)	Y_{max} 下的 X X under Y_{max} ($N, g/pot$)
1	$Y = -0.242 + 2.2039X - 0.8122X^2$	295.5	1.0184	1.255
2	$Y = -0.014 + 1.5757X - 0.6035X^2$	181.1	1.0149	1.305
3	$Y = -1.869 + 4.8887X - 2.0585X^2$	927.4	1.0338	1.187
4	$Y = -2.339 + 5.3582X - 2.1466X^2$	13.8	1.0047	1.248

注: $F_{0.05}=19, F_{0.01}=99$

内,以孕穗期施氮对糙米蛋白质形成的影响最大,基肥施氮次之,分蘖期施氮再次之,乳熟期施氮效果最差。从表5可以看出,虽然1、2、3、4组 ^{15}N 施用量之比为4:3:2:1,但4个组组内5水平糙米 ^{15}N 蛋白氮平均含量之比为4.51:2.36:2.41:0.72,其中,第1组大于4,第3组大于2,而第2组小于3,第4组小于1。此外,试验设计中四个组的第三水平(即第3、8、13、18处理)的 ^{15}N 施用量之比恰为4:3:2:1,实际上这四个处理的糙米 ^{15}N 蛋白氮含量之比为4.62:2.37:2.36:0.65,呈现出与上述结果相同的趋势。这同样说明,作为基肥和穗肥施用的氮肥比作为分蘖肥和粒肥施用的氮肥更有利于糙米蛋白质的形成,即从糙米蛋白质形成的角度来看,基肥和穗肥施用的氮素利用率较高,而分蘖肥和粒肥施用的氮素利用率较低。表5列出的各组 ^{15}N 蛋白氮平均含量占 ^{15}N 平均施用量的百分比也清楚地说明了这一点,第3组(^{15}N 作为穗肥)和第1组(^{15}N 作为基肥)的这一比例较高,达36.15%和34.52%,而第2组(^{15}N 作为分蘖肥)和第4组(^{15}N 作为粒肥)的较低,仅为23.86%和21.05%。

表5 糙米 ^{15}N 蛋白氮平均含量及其占施用 ^{15}N 的比例Table 5 Average content of ^{15}N pro-N in brown rice and its ratio to applied ^{15}N

组别 Group	5水平平均含量 Average content of 5 levels ($^{15}N, g/pot$)	第3水平含量 Content of 3rd level ($^{15}N, g/pot$)	占施用 ^{15}N 的比例 Ratio of the average to applied $^{15}N(\%)$
1	0.1486	0.1630	34.52
2	0.0777	0.0835	23.86
3	0.0793	0.0831	36.15
4	0.0239	0.0230	21.05

不同时期施氮对糙米蛋白质形成的效果不同与土壤、气候、作物以及施肥方法诸因素有关。本试验供试土壤为第四纪红土发育的红黄泥,有机质含量较高,粘粒比例大,有机、无机胶体丰富,有利于吸持铵离子。基肥于装盆时施下,与土壤充分混合,分解后形成的铵离子能较为有效地保持在土壤全层中,并在水稻整个生长发育期间发挥肥效。分蘖肥采用表施,不象基肥那样在全层分布均匀,由于早稻前期气温较低,水稻根系尚不发达,施用的尿素分解后形成的铵离子一方面因为土壤胶体铵离子饱和度较大被土壤吸持的可能性减小,另一方面因为根系吸收能力弱被水稻吸收的可能性也受到限制,容易滞留于土壤溶液中,造成反硝化或淋洗损失,故最终进入糙米蛋白质中的比例比基肥小。孕穗期是水稻营养生长和生殖生长齐头并进的时期,碳氮代谢旺盛,根系发达且吸收能力强,吸收的

氮素一般占全生育期吸氮总量的 40%~50%^(6,7), 此时施氮有利于氮素在植株体内的积累以及抽穗后向穗部的转移。虽然此时施氮的方法与分蘖肥一样同是表施, 但水稻根系的强吸收力弥补了施肥方法的不足。由于粒肥采用叶面喷施的方法, 角质层的阻碍作用较大, 故尿素进入水稻体内的比例最小。

试验设计中, 各组的平均施氮总量是一致的, 均为 $N1.084g / pot$, 且各组第 3 水平(即 3、8、13、18 四处理)的施氮总量也是 $N1.084g / pot$, 但是, 各组的糙米蛋白氮含量却各不相同。根据表 4 列出的方程, 可以算出, 当施氮量同为 $N1.084g / pot$ 时, 1、2、3、4 组糙米蛋白氮总量的平均值依次为 0.9966、0.9849、1.0115 和 0.9469g / potN, 实际上第 3、8、13、18 处理的糙米蛋白氮总量的实测值依次为 0.9910、0.9876、1.0134 和 0.9413g / pot N(表 2), 模拟值与实测值符合得很好, 都是第 3 组的最高, 第 1 组的次之, 第 4 组的最低。从表 4 还可看出, 糙米蛋白氮的最高估测值(Y_{max})也呈现同样的趋势, 而达到 Y_{max} 时的施氮总量却是第 3 组的最低。因此, 从施氮总量与糙米蛋白氮总量的关系来看, 孕穗期施氮同样也最有利于糙米蛋白质的增加, 其次是基肥施氮, 而分蘖期和乳熟期施氮则此作用相对较弱。

3 小结

1. 在中上肥力的水稻土红黄泥上按高产施氮量 $N187.5kg / hm^2$, 基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥 = 4:3:2:1 的比例施氮, 孕穗期施氮最有利于糙米蛋白质的形成与积累, 施用的氮素进入糙米蛋白质中的比例最高, 可达 36.15%, 基肥施氮次之, 为 34.52%, 分蘖期和乳熟期施氮效果较差, 仅为 23.80% 和 21.25%。

2. 在插植前、分蘖期、孕穗期和乳熟期按上述数量和比例施氮, 当其它三个时期施氮量一定时, 一个时期的施氮量与糙米中蛋白质的相对含量和绝对含量均呈极显著的线性正相关, 在插植前、分蘖期、孕穗期和乳熟期施用单位数量(g / pot)的氮素, 可使糙米蛋白氮相对含量(mg / gDW)分别增加 6.654、4.715、7.144 和 4.631, 可使糙米蛋白氮绝对含量(g / pot)分别增加 0.3336、0.2401、0.3712 和 0.2345。但四个时期的施氮总量与糙米蛋白质总量的关系均呈一元二次抛物线形式。某一时期过量施氮虽可使该时期施用的氮素进入糙米蛋白质的数量增加, 但却使其它时期施用的氮素进入糙米蛋白质的比例减少。

3. 在插植前、分蘖期、孕穗期和乳熟期分别施氮 0.433、0.325、0.325 和 0.109g / pot(相当于大田施氮 75.0、56.25、56.25 和 18.75kg / hm^2), 总施氮量为 1.192g / pot(相当于大田施氮 206.3kg / hm^2), 4 个时期施氮量之比为 3.64:2.73:2.73:0.91 时, 可使糙米蛋白氮产量达最高值, 即每盆 N 1.0318g(相当于大田每公顷 N 178.50kg)。

参 考 文 献

1. 周瑞庆, 陈开铁, 李合松等. 应用 ^{15}N 示踪技术研究水稻对氮素的吸收利用. 湖南农业大学学报, 1991, 17(4): 665~669
2. 郑兢贵. 水稻蛋白质含量与环境条件的关系. 福建稻麦科技, 1983, (4): 19~21
3. 陈学斌, 徐晓洁, 朱兆民等. 二系法杂交稻营养生理特性研究(II). 湖北农业科学, 1991, (2): 20~21
4. 刘宗衡, 邢竹. 运用同位素 ^{15}N 研究尿素不同施用方法的效果和氮素利用率. 土壤肥料, 1983, (5): 21~23
5. 李合松, 黄见良, 陈开铁等. 两系法亚种间杂交稻氮素营养与物质生产关系的研究. 湖南农业大学学报, 1993,

19(6): 533~539

6. 鲁如坤, 史陶钧. 农业化学手册. 北京: 科学出版社, 1982

7. 江口久夫. 国外农学(麦类作物). 1984, (1): 28

PRELIMINARY STUDIES ON THE EFFECTS OF NITROGEN APPLICATION AT DIFFERENT STAGES WITH DIFFERENT AMOUNTS ON ACCUMULATION OF PROTEIN IN BROWN RICE

Liu Qiang Luo Ze-min Rong Xiang-min Huang Jian-liang

Huang Qi-wei Yang Zhong-pei Chen Yong-yao

(*Hunan Agriculture University, Changsha 410128*)

Summary

In this paper, the relations of nitrogen application at four stages with different amounts to accumulation of protein in brown rice were studied by soil cultivation and ^{15}N tracing technique. The results showed that applying N at booting stage was most favourable to the accumulation of protein in brown rice and the ratio of ^{15}N protein-N in brown rice to applied ^{15}N reached 36.15%. This effect of applying N before transplanting took second place, and those at tillering stage and milk stage were relatively disappointed. The results also demonstrated that, under the condition of fixation of N application at the rest 3 stages, ^{15}N applied at one stage was significantly linearly correlative with ^{15}N protein-N in brown rice, but the relation between N application amount at all 4 stages and total protein-N in brown rice presented a parabolic curve, because of the decrease of brown rice yield and the descent of protein-N content under the condition of excessively applying N.

Key words ^{15}N , Nitrogen fertilizer, Application stage, Application amount, Brown rice, Protein