

不同氮肥水平下寒地粳稻器官不同形态氮含量变化特征研究

刚爽¹, 赵宏伟^{1*}, 王敬国¹, 刘化龙¹, 臧家祥¹, 高扬^{1,2}

(1 东北农业大学水稻研究所, 国家水稻区域技术创新中心, 黑龙江哈尔滨 150030;

2 黑龙江省农垦科学院水稻研究所, 黑龙江佳木斯 154007)

摘要:以寒地粳稻松粳6号和松粳9号为试材,研究了氮素用量对寒地粳稻植株营养性氮素(AN)、功能性氮素(FN)和结构性氮素(SN)形成积累及其变化的影响。结果表明,施氮水平对两品种功能叶片和茎秆AN和SN含量影响较大,且品种间影响程度不一致;而子粒AN和SN含量对施氮量反应不敏感。施氮量对两品种功能叶片和子粒FN含量影响较大,而对茎秆FN含量影响较小。两品种功能叶片和茎秆AN含量随着生育进程的推进呈单峰曲线变化,均在灌浆期达到峰值;子粒AN含量随生育进程推进呈“高一低一高”的变化趋势。两品种各器官FN含量均随生育进程而升高,在灌浆后期叶片和茎秆FN含量逐渐下降,子粒FN含量则小幅升高;松粳9号子粒FN含量大于松粳6号。两品种叶片和茎秆SN含量(除松粳9号N0、N100和N200处理外)表现为先上升后下降,开花期最高;子粒SN含量自开花到成熟均呈缓慢下降趋势;松粳9号叶片和茎秆SN含量大于松粳6号。相关分析可知,功能叶片和茎秆(除孕穗期外)各时期AN含量与产量呈显著或极显著正相关关系;子粒SN和FN含量分别与产量呈显著和极显著正相关关系。

关键词:寒地粳稻;氮素用量;营养性氮素;功能性氮素;结构性氮素

中图分类号: S511.2+2.062

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)02-0276-07

Effect of nitrogen fertilization rates on the variation characteristic of different nitrogen forms contents in *Japonica* rice under the cold region

GANG Shuang¹, ZHAO Hong-wei^{1*}, WANG Jing-guo¹, LIU Hua-long¹, ZANG Jia-xiang¹, GAO Yang^{1,2}

(1 Rice Research Institute of Northeast Agricultural University/Regional Center of National Rice Technological Innovation, Harbin, Heilongjiang 150030, China; 2 Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China)

Abstract: Nitrogen(N) fertilizer is one of the most important factors affecting grain yield in rice. The experiment investigated the effect of nitrogen application on the variation characteristics of the contents of three nitrogen forms [assimilable nitrogen(AN), functional nitrogen(FN), and structural nitrogen(SN)] in different organs using two rice varieties of cold *Japonica* (Songjing 6 and Songjing 9) as test materials. The results showed that nitrogen levels affected AN and SN contents in the functional leaves and stems significantly, and varied with the varieties, while it had slight effect on the AN and SN contents in grains. Nitrogen application rate had more significant influence on the FN content in function leaves and grains than in stems of two varieties. For both varieties, AN contents in functional leaves and stems presented a single peak curve with the growth process, and reached the maximum at the filling stage; while AN content of grains showed a “high-low-high” variation tendency. FN contents in different organs of both varieties were increased with the growth process generally, but the FN contents of leaves and stems de-

收稿日期: 2010-06-18

接受日期: 2010-10-22

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD65B01); 农业部跨越计划项目; 省科技攻关计划重大项目(GA09B102-1); 东北农业大学创新团队项目(CXT001-2-1)资助。

作者简介: 刚爽(1985—),女,黑龙江齐齐哈尔人,在读硕士研究生,主要从事作物生理学研究。E-mail: gang_shuang@163.com

* 通讯作者 E-mail: hongweizhao@163.com

creased gradually in later filling stage. In grains, FN content of Songjing 9 was higher than that of Songjing 6. SN contents in leaves and stems of both varieties (except N0, N100 and N200 treatment of Songjing 9) increased firstly and then decreased, and it reached the maximum at anthesis stage; SN content in grains showed a slow downward trend from anthesis to maturity; SN contents in leaves and stems of Songjing 9 were higher than that of Songjing 6. The AN contents in the functional leaves and stems for whole growing stages (except booting stage) and the SN, FN contents of grains were significantly positively correlated to the yield.

Key words: Japonica rice in cold region; nitrogen application rate; assimilable nitrogen; functional nitrogen; structural nitrogen

氮素在营养器官和生殖器官中的累积和分配是决定水稻产量的重要因素^[1-3]。植株吸收的氮素由土壤经根系、茎秆逐渐流动到叶片或子粒,器官间氮素同化活动的综合表现将影响流向子粒的氮素,从而调节产量和品质的形成^[4-8]。按照氮素在植物体内的同化顺序,细胞吸收的氮素,首先会在起始酶的催化下合成氨基酸,之后向合成蛋白质、核酸、维生素以及各种细胞器膜物质和胞壁等方向同化;其中合成的蛋白质一部分形成新酶类,以加速新的氮素同化及各种生理过程,一部分构成膜或壁等的组成部分,参与细胞结构的构建^[9]。依据氮素的这种同化方向,可以将植株氮素分为营养性氮素(AN),包括 NO_3^- 、 NH_4^+ 、酰胺和各种氨基酸等;功能性氮素(FN),主要包括球蛋白和清蛋白为主的酶类所含氮素^[10]和结构性氮素(SN),主要指形成胞壁及各种膜一类的含氮化合物及核酸、维生素等大分子功能性物质,也包括金属蛋白、色素蛋白、核蛋白、脂蛋白、糖蛋白等^[11]。有关这三类形态的氮素在水稻上的研究鲜有报道,为此,通过对不同施氮水平下两种寒地粳稻品种各器官三类形态氮素的形成积累规律和动态变化特征分析,旨在揭示寒地粳稻对氮素同化利用的生理机制,从而为水稻高效氮肥管理和高产栽培奠定理论基础。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

试验材料为:松粳6号(SJ6),由黑龙江省农业科学院第二水稻研究所1985年以辽粳5号为母本,合江20为父本,杂交后代经系谱法选育而成,需活动积温 2650°C 左右;松粳9号(SJ9),由黑龙江省农业科学院五常水稻研究所1994年以松93-8为母本,通306为父本,杂交后代经系谱法选育而成,需活动积温 2650°C 左右,2005年被审定超级稻品种。

1.2 试验设计

试验于2009年在东北农业大学植物实验实习

基地进行。试验地基础肥力:有机质含量 54.5 g/kg 、全氮 2.96 g/kg 、全磷 1.01 g/kg 、缓效钾 764.8 mg/kg 、碱解氮 224.9 mg/kg 、速效钾 94.2 mg/kg 、速效磷 64.0 mg/kg 、土壤pH 8.02。采用随机区组设计,设不施氮肥和施N 50、100、150、200、250 kg/hm^2 6个不同氮肥用量处理,分别用N0、N50、N100、N150、N200、N250表示,3次重复。氮肥60% (尿素、磷酸二铵)作基肥、30% (尿素)作返青分蘖肥、10% (尿素)为穗肥;各处理磷钾肥用量相同,80 kg/hm^2 硫酸钾作基肥、20 kg/hm^2 作追肥;120 kg/hm^2 磷酸二铵作基肥一次施入,其中N0处理用过磷酸钙代替磷酸二铵。小区行长10m,8行区,行距30cm,穴距16.7cm。4月20日播种,5月26日移栽,其它管理同一般生产田。

1.3 取样与测定

在水稻孕穗期、开花期、灌浆期和成熟期选取生长整齐一致的植株,挂牌标记,于晴天上午9:00~10:30取样,将植株分为功能叶、茎秆和子粒,用于测定。

3种形态氮测定参照杨铁钢^[9]方法进行。

营养性氮(AN)含量: NO_3^- -N的测定是利用水杨酸在硫代硫酸钠作用下将其转化为 NH_4^+ -N的原理。 NH_4^+ -N、氨基酸和酰胺的测定采用茚三酮溶液比色法,以亮氨酸的氮含量作标准曲线。

功能性氮(FN)含量:将样品置瓷研钵中,加少量10%氯化钠溶液,研磨至匀浆。700 \times g离心3~5 min,取上清液,重复3次。然后向上清液中加冰醋酸,80 $^\circ\text{C}$ 水浴加热5~10 min,无灰滤纸过滤,1%醋酸冲洗4次,将沉淀和滤纸一起放在温箱中烘干后用凯氏定氮法测定氮含量,用同样滤纸作对照。

结构性氮(SN)含量:样品的全氮含量减去营养性氮和功能性氮含量。

所得数据均采用Microsoft Excel 2003软件和DPSv7.05,Two-way ANOVA方法进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 氮素用量对营养性氮素(AN)形成积累的影响

寒地水稻不同器官的 AN 含量在不同的生长发育阶段对不同施氮量反应不同。图 1 显示,两品种功能叶片和茎秆的 AN 含量随着生育进程的推进均呈单峰曲线变化,孕穗期至开花期缓慢升高,开花后迅速升高,在灌浆期达到峰值,之后迅速下降。至成熟期,松粳 6 号 N0、N50、N100、N150、N200 和 N250 处理叶片 AN 分别下降 56%、52%、48%、47%、60%

和 66%; 茎秆分别下降 45%、46%、22%、23%、18% 和 24%。松粳 9 号叶片 AN 分别下降 57%、57%、56%、49%、62% 和 69%; 茎秆分别下降 47%、46%、22%、19%、18% 和 29%。两品种叶片 AN 下降的幅度均大于茎秆,成熟期叶片 AN 含量与开花期差异不大,而成熟期茎秆的 AN 含量高于开花期;子粒的 AN 含量在开花期时最高,开花后迅速下降,灌浆期最低,而后又呈上升趋势。两品种间相同器官的 AN 含量差异不大,成熟期不同器官间 AN 含量均表现为茎秆 > 子粒 > 叶片。

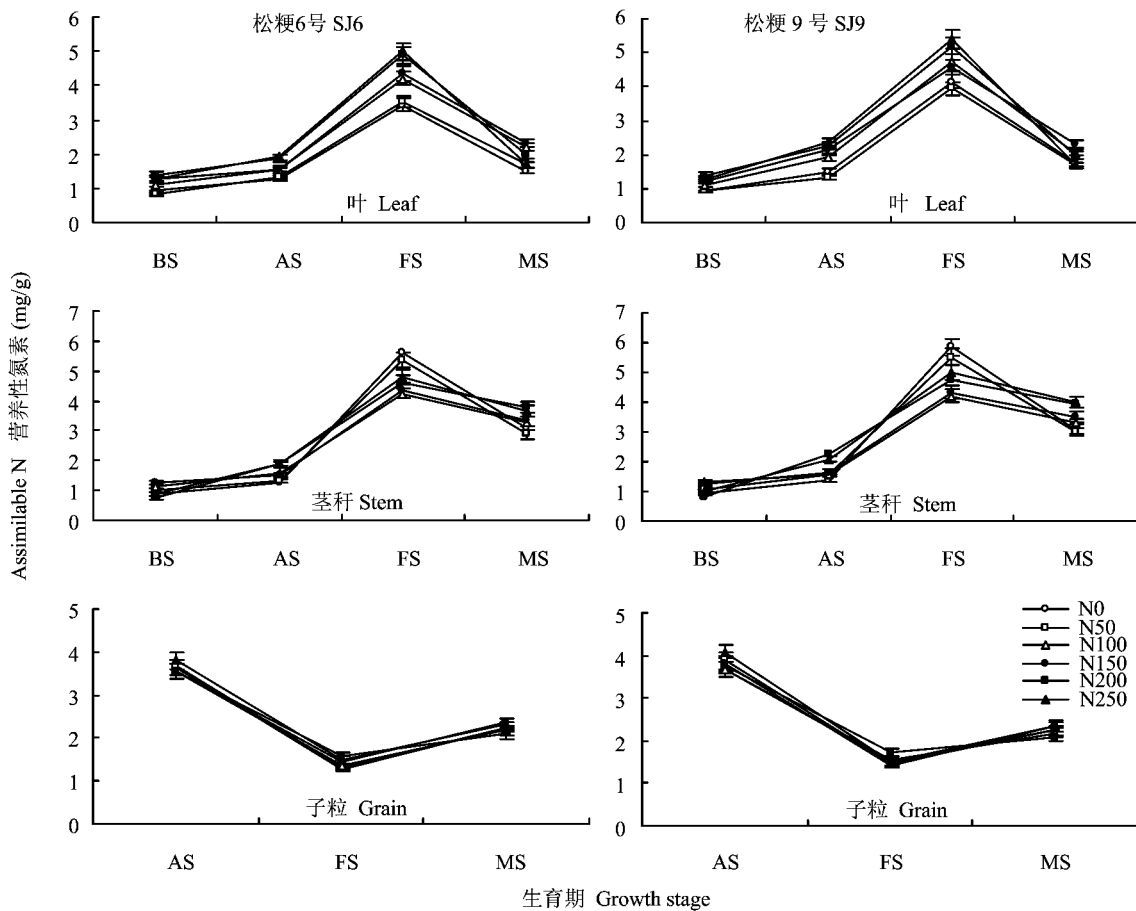


图 1 不同施氮水平下寒地水稻器官营养性氮素含量随生育进程的变化

Fig. 1 Changes of AN content in organs of rice in cold region at different growth stages with N treatments

[注(Nore): BS—孕穗期 Booting stage; AS—开花期 Anthesis stage; FS—灌浆期 Filling stage; MS—成熟期 Maturing stage]

2.2 氮素用量对功能性氮素(FN)形成积累的影响

两品种各器官 FN 含量自孕穗期到灌浆期均随生育进程而升高,在灌浆后期叶片和茎秆的含量逐渐下降,子粒的含量则小幅升高。表 1 看出,相同氮素水平下,茎秆和功能叶 FN 含量,除开花期松粳 9 号高于松粳 6 号外,差异均不显著;但子粒均表现为松粳 9 号高于松粳 6 号。表明两品种叶片内参与

氮素同化的酶量差异小,但子粒所含酶量则松粳 9 号显著高于松粳 6 号。同一生育时期,不同器官对氮肥反应不同,灌浆期两品种叶片 FN 含量表现为低氮(N0 和 N50)大于高氮(N200 和 N250),而子粒 FN 含量则表现高氮大于低氮的趋势。在各生育时期(除成熟期外)各施氮处理下,两品种 FN 含量均以叶片、子粒、茎秆的顺序依次减小,表明功能性氮

表 1 不同施氮水平下寒地水稻器官功能性氮素含量随生育进程的变化(mg/g,FW)
Table 1 Changes of FN contents in organs of rice in cold region at different stages with N treatments

器官 Organs	品种 Cultivar	施氮量 N rate	孕穗期 BS	开花期 AS	灌浆期 FS	成熟期 MS		
功能叶 Leaf	松粳 6 号 SJ 6	N0	0.25 c	0.39 f	0.68 bcd	0.20 ef		
		N50	0.24 c	0.38 fg	0.71 ab	0.22 def		
		N100	0.25 c	0.44 e	0.65 d	0.27 bc		
		N150	0.24 c	0.48 cd	0.67 cd	0.30 b		
		N200	0.30 b	0.53 ab	0.55 ef	0.35 a		
		N250	0.34 a	0.56 a	0.52 f	0.36 a		
	松粳 9 号 SJ 9	N0	0.30 b	0.47 de	0.70 abc	0.22 def		
		N50	0.29 b	0.48 cd	0.72 a	0.24 cd		
		N100	0.25 c	0.51 bc	0.65 d	0.23 de		
		N150	0.24 c	0.54 ab	0.68 bcd	0.24 cd		
		N200	0.22 c	0.35 gh	0.52 f	0.19 f		
		N250	0.22 c	0.33 h	0.58 e	0.20 ef		
		茎秆 Stem	松粳 6 号 SJ 6	N0	0.11 de	0.12 cdef	0.24 cd	0.02 b
				N50	0.13cd	0.13 bcde	0.25 bc	0.02 b
N100	0.10 e			0.08 g	0.23 cde	0.03 ab		
N150	0.09 e			0.09 fg	0.27 ab	0.04 ab		
N200	0.13cd			0.10 efg	0.28 a	0.03 ab		
N250	0.10 e			0.11 defg	0.29 a	0.02 b		
松粳 9 号 SJ 9	N0		0.13cd	0.16 ab	0.22 def	0.04 ab		
	N50		0.14 bc	0.17 a	0.21 efg	0.06 a		
	N100		0.17 a	0.14 abcd	0.25 bc	0.05 ab		
	N150		0.16 ab	0.15 abc	0.24 cd	0.04 ab		
	N200		0.18 a	0.16 ab	0.20 fg	0.05 ab		
	N250		0.17 a	0.14 abcd	0.19 g	0.06 a		
	子粒 Grain		松粳 6 号 SJ 6	N0		0.22 g	0.35 f	0.40 e
				N50		0.24 fg	0.38 f	0.43 e
N100				0.29 de	0.46 de	0.48 d		
N150				0.28 ef	0.47 cde	0.47 d		
N200				0.33 cd	0.50 cd	0.52 c		
N250				0.35 bc	0.51 c	0.53 c		
松粳 9 号 SJ 9		N0		0.21 g	0.45 e	0.50 cd		
		N50		0.25 efg	0.48 cde	0.53 c		
		N100		0.38 ab	0.51 b	0.58 b		
		N150		0.36 abc	0.57 ab	0.57 b		
		N200		0.40 a	0.60 ab	0.62 a		
		N250		0.39 ab	0.61 a	0.63 a		

注(Note): BS—孕穗期 Booting stage; AS—开花期 Anthesis stage; FS—灌浆期 Filling stage; MS—成熟期 Maturing stage. 数值后不同小写字母表示同一器官处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters among treatments in the same organ mean significant at 5% level.

素主要存在于叶片和子粒这些有吸收和同化功能的器官中。

2.3 氮素用量对结构性氮素(SN)形成积累的影响

SN的多少和细胞数目及细胞的成分有关。图 2 显示,松粳 9 号叶片和茎秆的不同生育期各处理(除灌浆期外)SN含量都高于松粳 6 号,子粒 SN 含

量差异不大;且不同生育阶段变化趋势基本相同(除松粳 9 号 N0、N100 和 N200 处理外),均先上升后下降。在开花期,松粳 6 号叶片和茎秆的 SN 含量随施氮量增加而增大;松粳 9 号为 N50 处理最高,N200 处理最低。两品种子粒的 SN 含量变化趋势基本相同,自开花到成熟均呈缓慢下降趋势。两

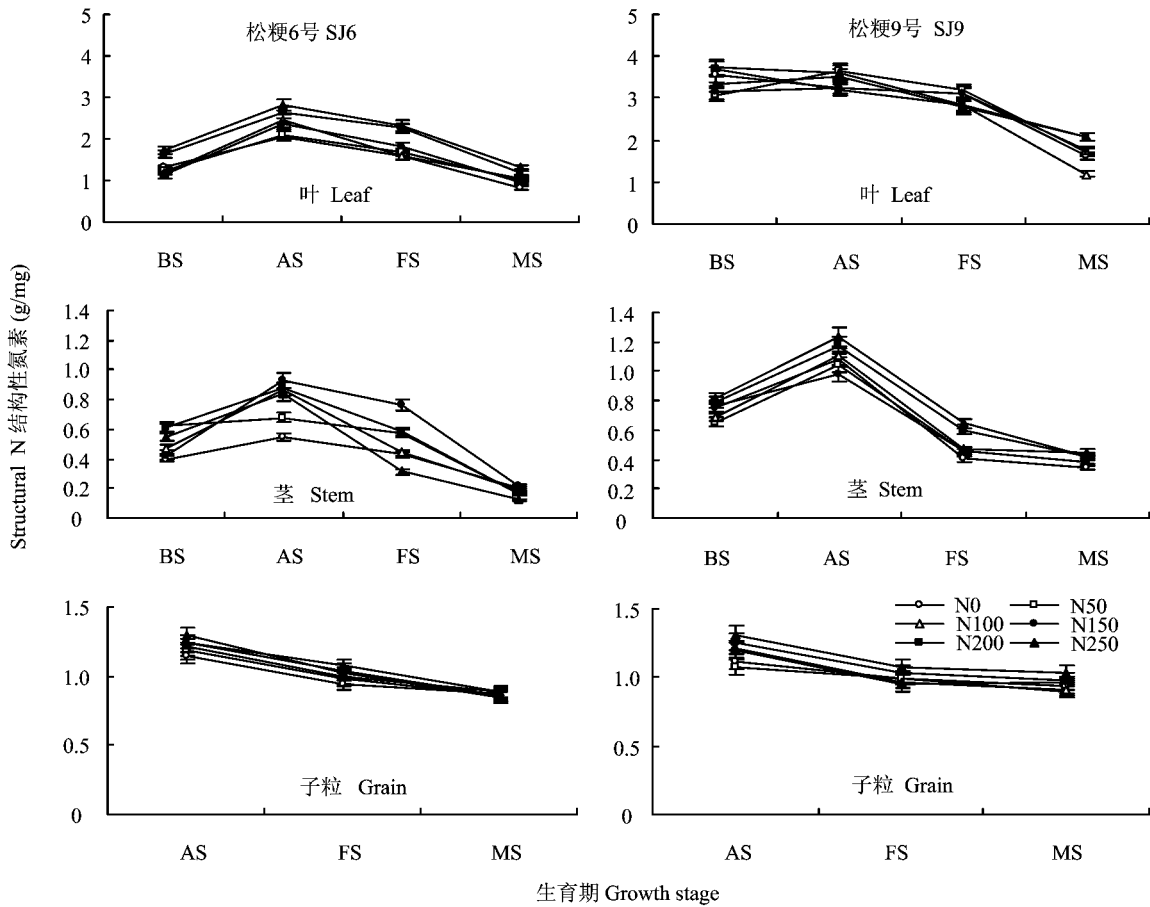


图 2 不同施氮水平下寒地水稻器官结构性氮素含量随生育进程的变化

Fig. 2 Changes of SN contents in organs of rice in cold region at different growth stages with N treatments

[注(Nore): BS—孕穗期 Booting stage; AS—开花期 Anthesis stage; FS—灌浆期 Filling stage; MS—成熟期 Maturing stage]

品种 SN 含量均以叶片、子粒、茎秆的顺序依次减小。

2.4 各生育期各器官三类形态氮含量与产量的相关分析

由表 2 可知,功能叶片中 AN 含量在各时期与产量均达到显著或极显著正相关关系,提高各时期功能叶片的 AN 含量,对提高产量有促进作用;而 FN 和 SN 含量与产量相关关系不显著。茎秆中 AN 含量除孕穗期外,其它各时期含量与产量呈显著或极显著正相关关系, FN 和 SN 含量与产量相关关系不显著。子粒中 AN 含量与产量相关关系不显著, FN 和 SN 含量与产量达极显著和显著正相关关系。因此,要想提高产量,应从三种形态氮的形成和积累规律方面考虑,在不同时期不同器官,促进三种形态氮的形成和相互转化。

3 讨论

3.1 寒地粳稻植株生长发育过程中各器官三类形态氮间的相互转化

营养性氮素是细胞合成各种功能性氮素和结构

表 2 各生育时期各器官三种类型氮素含量与子粒产量的相关分析

Table 2 Coefficient analysis among three N forms contents in different growth stages and grain yield

器官 Organs	氮形态 N forms	孕穗期 BS	开花期 AS	灌浆期 FS	成熟期 MS
功能叶 Leaf	AN	0.7406 **	0.7483 **	0.6797 *	0.7137 **
	FN	0.4745	0.0353	0.4186	0.0082
	SN	0.3524	0.3811	0.3163	0.4816
茎秆 Stem	AN	0.3187	0.6659 *	0.7443 **	0.6331 *
	FN	0.4862	0.0571	-0.1465	0.4864
	SN	0.3814	0.5814	0.4515	0.4508
子粒 Grain	AN	0.1801	0.5409	-0.0520	
	FN	0.8070 **	0.8161 **	0.7154 **	
	SN	0.6862 *	0.5847 *	0.5811 *	

注 (Note): BS—孕穗期 Booting stage; AS—开花期 Anthesis stage; FS—灌浆期 Filling stage; MS—成熟期 Maturing stage. AN—Assimilable nitrogen; FN—Functional nitrogen; SN—Structural nitrogen. **— $P < 1\%$; *— $P < 5\%$.

性氮素的“原料”,是氮素同化的中间产物,功能性氮素和结构性氮素则是氮素同化的最终产物。水稻吸收铵态氮和硝态氮后,可留在根部同化或运到茎、叶后被同化为氨基酸或酰胺,这些无机氮和氨基酸组成了 AN,AN 又被进一步合成为各种酶和细胞各种结构的组成成分,其中,合成的酶蛋白构成 FN,合成细胞各种结构的成分构成 SN^[9]。

本研究表明,在同一氮素水平下,两品种开花后叶片或茎秆的 AN 含量升高, FN 含量差异并不显著, SN 含量在花后两品种均表现为下降;而子粒 AN 则是从开花后陡降至灌浆期, SN 含量缓慢下降至成熟期,且品种间差异不大。说明两品种在花后叶片和茎秆 AN 含量的升高是子粒对叶片或茎秆输出氮素需求增加所致,并导致叶片或茎秆内 SN 的分解;同时,两品种 FN 含量的差异不显著说明了花后叶片和茎秆 AN 含量的升高并非 FN 分解的结果。由于开花期子粒细胞处于快速分裂期需要较多的氮素,促使了 SN 的分解;随着细胞分裂速度的减慢和进入细胞内含物的充实,子粒 SN 的合成速度缓慢下降直至子粒成熟。因此, SN 的合成是促进氮素流动的主要因素,而 SN 的旺盛合成又往往由细胞分裂引起。叶片氮素的吸收与利用一直是在围绕着自身 AN 同化为 SN 的活动进行的,并和细胞分裂、成熟、衰老等过程紧密联系。茎秆由于是传输器官,在生长、成熟和衰老阶段 AN 含量表现均较高。以上结果与杨铁钢^[9]对高子粒蛋白小麦品种的研究结果一致,但与低子粒蛋白小麦品种的研究结果不一致。

3.2 氮素用量对寒地粳稻三类形态氮的影响

本研究表明,不同的施氮条件下,叶片和茎秆 AN 含量受施氮量的影响较大,而子粒 AN 含量在各时期对施氮量反应均不敏感。这可能因为叶片和茎秆是吸收、运输和利用氮素的最直接的器官,其 AN 含量受氮肥供应水平的影响较大;而子粒利用氮素相对较为间接,其 AN 含量受氮肥供应水平的影响较小。灌浆期两品种叶片 FN 含量表现为低氮(N0 和 N50)大于高氮(N200 和 N250),而子粒 FN 含量则表现高氮大于低氮。这可能和叶片在较低的施氮水平下需要有较多的酶类参与氮素吸收利用,而子粒此时为生长中心,且在较高的施氮水平下也需要有较多酶类进行氮素和碳素的同化有关。

本研究结果还表明,叶片中 AN 含量在各时期与产量均达到显著或极显著正相关关系,茎秆中各时期 AN 含量(除孕穗期外)与产量呈显著或极显著

正相关关系;子粒中 SN 和 FN 含量分别与产量呈显著和极显著正相关关系。叶片和茎秆中 AN 含量受施氮量影响较大,而且叶片和茎秆中的 AN 主要输送给子粒,为子粒 AN 向 SN 和 FN 同化做好充足的准备,为产量形成奠定基础。因此,可将施氮量作为提高叶片和茎秆中 AN 含量的调控位点,进而达到提高产量的目的。

4 小结

寒地水稻叶片三类形态氮素的含量都相对较高,为其它器官氮素的利用提供了基础。子粒形成时对 SN 的较高需求是促使叶片和茎秆 AN 含量增加和 SN 发生较多转移的主要因素。花后叶片和茎秆 SN 的释出是转移氮素的主要来源, FN 的释出及转运量和 SN 相比很小。花后子粒从营养器官获取和利用氮素的能力是形成产量的重要因素之一。氮素用量对三类形态氮含量有一定的影响,但在品种间差异不大。

参考文献:

- [1] 张耀鸿,张亚丽,黄启为,等. 不同氮肥水平下水稻产量以及氮素吸收、利用的基因型差异比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 616-621.
Zhang Y H, Zhang Y L, Huang Q W *et al.* Effects of different nitrogen application rates on grain yields and nitrogen uptake and utilization by different rice cultivars[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2006, 12(5): 616-621.
- [2] 张耀鸿,吴洁,张亚丽,等. 不同株高粳稻氮素积累和转运的基因型差异[J]. 南京农业大学学报, 2006, 29(2): 71-74.
Zhang Y H, Wu J, Zhang Y L *et al.* Genotypic variation of nitrogen accumulation and translocation in japonica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars with different height[J]. *J. Nanjing Agric. Univ.*, 2006, 29(2): 71-74.
- [3] Zhang Y H, Fan J B, Zhang Y L *et al.* Nitrogen accumulation and translocation of different Japonica rice cultivars under different nitrogen application rates[J]. *Pedosphere*, 2007, 17 (6): 792-800.
- [4] 王月福,于振文,李尚霞,余松烈. 小麦开花后不同器官中硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶的活性比较[J]. 植物生理学通讯, 2003, (3): 209-210.
Wang Y F, Yu Z W, Li S X, Yu S L. Comparison of nitrate reductase and glutamine synthetase activities in different organs of wheat after flowering[J]. *Plant Physiol. Comm.*, 2003, (3): 209-210.
- [5] 王月福,于振文,李尚霞,余松烈. 不同施肥水平对不同品种小麦子粒蛋白质和地上器官游离氨基酸含量的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(3): 417-421.
Wang Y F, Yu Z W, Li S X, Yu S L. The effects of different fer-

- tilization level on grain protein and free amino acid content of organs above ground of different wheat variety[J]. *Acta Bot. Bor.-Occid. Sin.*, 2003, 23(3): 417-421.
- [6] 沈建辉,戴廷波,荆奇,等. 氮时期对专用小麦干物质和氮素积累、运转及产量和蛋白质含量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2004, 24(1): 55-58.
Shen J H, Dai T B, Jing Q *et al.* Effect of nitrogen topdressing time on the accumulation and transfer of nitrogen, yield and protein content in specialty wheat[J]. *J. Trit. Crops*, 2004, 24(1): 55-58.
- [7] 戴廷波,孙传范,荆奇,等. 不同施氮水平和基追比对小麦子粒品质形成的调控[J]. *作物学报*, 2005, 31(2): 248-253.
Dai T B, Sun C F, Jing Q *et al.* Regulation of nitrogen rates and dressing ratios on grain quality in wheat[J]. *Acta Agron. Sin.*, 2005, 31(2): 248-253.
- [8] 段英华,张亚丽,沈其荣,等. 增硝营养对不同基因型水稻苗期氮素吸收同化的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(2): 160-165.
Duan Y H, Zhang Y L, Shen Q R *et al.* Effect of partial replacement of NH_4^+ by NO_3^- on nitrogen uptake and utilization by different genotypes of rice at the seedling stage[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(2): 160-165.
- [9] 杨铁钢. 不同品种和氮素水平下小麦高效氮素利用的生理机制研究[D]. 南京: 南京农业大学博士论文, 2007.
Yang T G. Studies on physiological mechanism for high efficient nitrogen use in wheat[D]. Nanjing: PhD dissertation, Nanjing Agricultural University, 2007.
- [10] Claver I P, Zhou H M. Enzymatic hydrolysis of defatted wheat germ by proteases and the effect on the functional properties of resulting protein hydrolysates[J]. *J. Food Biochem.*, 2005, 29(1): 13-26.
- [11] Rhodes D I, Stone B A. Proteins in walls of wheat aleurone cells[J]. *J. Cereal Sci.*, 2002, 36(1): 83-101.