

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2010.00321

## 油菜生育期氮素的吸收、分配及转运特性

张振华<sup>1</sup> 宋海星<sup>1,\*</sup> 刘 强<sup>1</sup> 荣湘民<sup>1</sup> 谢桂先<sup>1</sup> 彭建伟<sup>1</sup> 张玉平<sup>1</sup>  
官春云<sup>2</sup> 陈社员<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 湖南农业大学资源环境学院, 湖南长沙 410128; <sup>2</sup> 国家油料改良中心湖南分中心, 湖南长沙 410128

**摘 要:** 在 Hoagland 完全营养液的沙培条件下, 采用 <sup>15</sup>N 示踪方法, 研究了两个冬油菜品种不同生育期吸收的氮素在体内的分配、转运及损失情况。结果表明(两个品种平均值), 83.5% 苗期吸收的氮素和 66.3% 蕾薹期吸收的氮素分布在叶片中; 79.1% 开花期吸收的氮素分布在叶片和茎中, 其中叶片中分布的氮占 42.8%; 而角果发育期吸收的氮素有 42.4% 直接分配到角果中, 此时角果已成为氮素直接分配的比例最大的器官。苗期、蕾薹期、开花期和角果发育期吸收的氮素从营养器官向生殖器官的转运比例分别为 34.4%、44.3%、41.2% 和 31.7%, 单株转运量分别为 203.2、325.8、218.0 和 82.0 mg。在籽粒全氮中转运氮占 65.1%, 其中蕾薹期吸收后转运的氮素所占比例最大, 为 25.8%, 其次是开花期和苗期, 分别为 16.9% 和 15.9%, 角果发育期比例最小, 为 6.4%。以上 4 个生育期吸收的氮素损失比例分别为 24.0%、10.5%、11.7% 和 7.3%, 单株损失量分别为 141.6、79.2、43.2 和 16.2 mg。

**关键词:** 油菜; 氮素吸收; 氮素分配; 氮素转运

## Absorption, Distribution, and Translocation of Nitrogen at Growth Stages in Oilseed Rape Plant

ZHANG Zhen-Hua<sup>1</sup>, SONG Hai-Xing<sup>1,\*</sup>, LIU Qiang<sup>1</sup>, RONG Xiang-Min<sup>1</sup>, XIE Gui-Xian<sup>1</sup>, PENG Jian-Wei<sup>1</sup>, ZHANG Yu-Ping<sup>1</sup>, GUAN Chun-Yun<sup>2</sup>, and CHEN She-Yuan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> College of Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; <sup>2</sup> National Center of Oilseed Crops Improvement, Hunan Branch, Changsha 410128, China

**Abstract:** The differences of concentration and distribution of nitrogen in crop depend on organs and growth stages, and nitrogen redistribution in different organs will be occurred at different stages; these differences are related to the transfer of growth center. Consequently, the high crop yield depends not only on the high amount of nitrogen absorption, but also on the high efficiency of nitrogen redistribution. The objective of this study was to reveal the law of nitrogen absorption, distribution, and translocation in oilseed rape plant at different growth stages using two winter oilseed rape cultivars with the <sup>15</sup>N labeling method in sand culture under Hoagland complete nutrient solution conditions. The results (average value from the two cultivars) indicated that 83.5% of nitrogen absorbed at the seedling stage, and 67.3% of nitrogen absorbed at the stem elongation stage, were distributed to leaves; 79.1% of the nitrogen absorbed at flowering stage was contained in leaves and stems, with 42.8% of it in the leaves. However, 42% of the nitrogen absorbed at siliquing stage was distributed to siliquae which is just the organ directly distributed the highest proportion of nitrogen absorbed at this stage. The nitrogen absorbed at four growth stages (seedling, stem elongation, flowering, and siliquing) translocated from the vegetative to the reproductive organs at 34.4%, 44.3%, 41.2%, and 31.7%, i.e. 203.2, 325.8, 218.0, and 82.0 mg plant<sup>-1</sup>, respectively. The translocated nitrogen from vegetative organs to the total nitrogen in seed accounted for 65.1%; among with 25.8% absorbed at the stem elongation stage, 16.9% absorbed at flowering stage, 15.9% absorbed at seedling stage, and 6.4% absorbed at siliquing stage, respectively. The proportion of nitrogen loss, after being absorbed at the four growth stages, was 24.0%, 10.5%, 11.7%, and 7.3%, i.e. 141.6, 79.2, 43.2, and 16.2 mg plant<sup>-1</sup>, respectively. To sum up, nitrogen absorbed by roots at the earlier growth stages in oilseed rape was mainly translocated to leaves first, and then to the reproductive organ at the later growth stages.

**Keywords:** Oilseed rape; Nitrogen absorption; Nitrogen distribution; Nitrogen translocation

本研究由国家自然科学基金项目(30971860), 湖南省自然科学基金重点项目(07JJ3074), 国家油菜产业技术体系建设项目(nyctx-00509)和国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006BAD21B030), 湖南省重大专项(2009FJ1006-1 和 2009FJ1006-3), 湖南省高校创新平台开发基金项目(09K049)资助。

\* 通讯作者(Corresponding author): 宋海星, E-mail: haixingsong@yahoo.com.cn

第一作者联系方式: E-mail: zhzh1468@163.com

Received(收稿日期): 2009-04-01; Accepted(接受日期): 2009-10-01.

作物体内氮素的含量和分布常因器官部位、发育时期的不同而有很大差异,而且各部位在不同发育时期都可能发生氮素的再分配,这种变化主要与生长中心的转移有关。如根系较老部位的氮素重新转运到正在生长的根尖,基部叶片的氮素转运到上部扩展的叶片,尤其是开花后,大量氮素从营养器官再分配到籽粒。大田种植条件下,作物进入生殖生长期后土壤氮素往往供应不足,氮素的再分配对种子发育愈显重要<sup>[1-3]</sup>。据报道,冬小麦开花后营养器官中的氮素对籽粒氮素的贡献为 50%~84%<sup>[4-5]</sup>,灌浆期豆科植物根瘤中 60%的氮素是从营养器官中重新分配的,而只有 40%是灌浆期同化的<sup>[6]</sup>。Malagoli 等<sup>[7]</sup>研究指出,大田油菜籽粒发育所需的氮素中大约有 73%来自于营养器官氮素的再分配。可见,氮素在营养器官和生殖器官中的累积和分配是影响作物产量的重要因素<sup>[8-9]</sup>,较高的籽粒产量不仅依赖于较高的氮素吸收量,还依赖于较高的氮素再分配效率<sup>[10]</sup>。因此,了解作物不同生育阶段体内氮素的吸收、分配与再分配规律是合理施用氮肥、提高作物产量的重要保证。然而,有关这方面的研究远少于氮素同化与生理功能方面的报道,且主要集中在水稻、小麦、玉米等禾谷类作物上。本试验采用同位素示踪技术研究了油菜不同生育期吸收的氮素在植株体内分配、转运及损失情况,以期揭示其相关规律,为确定油菜的合理施氮量、提高油菜氮肥利用率、减少过量施肥造成的环境污染提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与 设计

常规冬油菜品种 X-36 和 X-50,由国家油料中心湖南分中心提供。选用 30 cm×30 cm 棕色塑料钵,进行沙培试验。于 2005 年 9 月 25 日育苗,11 月 2 日移栽,2006 年 5 月 5 日收获,每钵移苗一棵,生长基质为无营养成分(用水和稀盐酸清洗干净)的珍珠岩沙粒,用 Hoagland<sup>[11]</sup>完全营养液进行培养,营养液成分是 5 mmol L<sup>-1</sup> KNO<sub>3</sub>, 1 mmol L<sup>-1</sup> KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 7 mmol L<sup>-1</sup> MgSO<sub>4</sub>, 5 mmol L<sup>-1</sup> Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, 3 mmol L<sup>-1</sup> Fe-EDTA, 0.5 mg L<sup>-1</sup> B, 0.5 mg L<sup>-1</sup> Mn, 0.05 mg L<sup>-1</sup> Zn, 0.02 mg L<sup>-1</sup> Cu, 0.01 mg L<sup>-1</sup> Mo, 以 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 KNO<sub>3</sub> 为 <sup>15</sup>N 源,二者丰度均为 20.28% (上海化工研究院生产)。<sup>15</sup>N 标记天数及标记后的采样时间见表 1,为保证植株吸收一定量的 <sup>15</sup>N 前提下尽量减少成本,<sup>15</sup>N 供应时间因各生育期的吸收能力不同而不同,吸收能力强的生育期供应时间长,反之则短。每生育期标记结束后,除当时采样的植株之外,其他植株均移栽到不含 <sup>15</sup>N 的盆钵中继续培养,以区分转运氮素与吸收氮素。表 1 中的“标记结束时(labeling end stage)”是指每个生育期 <sup>15</sup>N 供应结束隔 2 d 后。以苗期为例,苗期 <sup>15</sup>N 标记处理持续 21 d,在第 24 天每个品种采样 6 株,还有 12 株移栽到没有 <sup>15</sup>N 标记处理的沙培营养液中继续生长,并且分别在角果发育期(与当时标记处理结束后采样的植株一同)和收获期采样。重复 6 次(每品种每次采样 6 株),每品种共 72 钵,两个品种共培养 144 钵。

表 1 各生育时期的 <sup>15</sup>N 处理天数及各时期的采样器官  
Table 1 Time of labeling (<sup>15</sup>N) and sampled organs at every growth stage

<sup>15</sup> N 标记天数 Days for <sup>15</sup> N labeling	处理钵数 Pot number	采样器官 Sampled organ			
		标记结束时 Labeling end stage	开花期 Flowering stage	角果发育期 Siliquing stage	收获期 Harvesting stage
苗期 21 d 21 days at seedling stage	3×6=18	根、茎、叶 Root, stem, leaf		根、茎、叶、角果 Root, stem, leaf, silique	根、茎、叶、果皮、籽粒 Root, stem, leaf, silique husk, grain
蕾薹期 5 d 5 days at stem elongation	4×6=24	根、茎、叶 Root, stem, leaf	根、茎、叶、花 Root, stem, leaf, flower	根、茎、叶、角果 Root, stem, leaf, ilique	根、茎、叶、果皮、籽粒 Root, stem, leaf, silique husk, grain
开花期 5 d 5 days at flowering stage	3×6=18	根、茎、叶、花 Root, stem, leaf, flower		根、茎、叶、角果 Root, stem, leaf, ilique	根、茎、叶、果皮、籽粒 Root, stem, leaf, silique husk, grain
角果期 9 d 9 days at siliquing stage	2×6=12	根、茎、叶、角果 Root, stem, leaf, silique			根、茎、叶、果皮、籽粒 Root, stem, leaf, silique husk, grain

### 1.2 测定与计算方法

按表 1 的时间采全株样,洗净擦干后按器官分装,称重后烘干至恒重测其生物产量,烘干样品经磨碎过筛后用于测定含氮量及 <sup>15</sup>N 丰度。适时收集

落叶,以便准确测定生物量及全氮。

采用凯氏定氮法测定植株含氮量,根据生物量及含氮量计算植株全氮、籽粒全氮、收获指数及氮收获指数。

植株全氮=生物产量×植株含氮量

籽粒全氮=籽粒产量×籽粒含氮量

收获指数=籽粒产量/生物产量

氮收获指数=籽粒全氮/植株全氮

苗期吸收的氮素=苗期植株全氮; 蕾薹期吸收的氮素=蕾薹期植株全氮-苗期植株全氮; 开花期吸收的氮素=开花期植株全氮-蕾薹期植株全氮; 角果发育期吸收的氮素=角果发育期植株全氮-开花期植株全氮

$^{15}\text{N}$  丰度按半微量定氮法进行前处理, 用 ZHT-203 质谱仪(北京分析仪器厂生产)测定。根据标记结束时所取样品的各器官原子百分超和标记后在无  $^{15}\text{N}$  营养液中生长到不同生育期后所取样品的各器官原子百分超, 先计算出营养器官氮素向生殖器官的转运(损失)比例, 再根据该比例和植株全氮计算转运(损失)量。各生育期的氮素转运(损失)比例和转运(损失)量是以标记结束后的采样时间为界进行计算的, 如苗期转运(损失)比例和转运(损失)量是以苗期标记结束后采样为止的, 蕾薹期转运(损失)比例和转运(损失)量是以从苗期标记结束后采样到蕾薹期标记结束后采样之间的, 以此类推。

氮素转运比例=生殖器官  $^{15}\text{N}$  累积量(开花期和角果发育期标记处理, 生殖器官  $^{15}\text{N}$  累积量中先减去标记结束后采样时生殖器官中的  $^{15}\text{N}$  量)/标记结束后采样的植株  $^{15}\text{N}$  累积量×100 %;

氮素转运量=氮素转运比例×标记结束后采样的植株氮素累积量;

氮素损失比例=[标记结束后采样的植株  $^{15}\text{N}$  累积量 - 收获期(或角果发育期)植株  $^{15}\text{N}$  累积量]/标记结束后采样的植株  $^{15}\text{N}$  累积量×100 %;

氮素损失量=氮素损失比例×标记结束后采样的植株氮素累积量。

## 2 结果与分析

### 2.1 两个油菜品种单株生物量及氮素吸收量

由表 2 可以看出, X-36 的植株含氮量与籽粒含氮量略低于 X-50, 但其籽粒产量及氮收获指数均高于 X-50, X-36 的生物产量、收获指数和植株全氮也略高于 X-50。可见, X-36 的籽粒产量比 X-50 高, 并非主要是因为其氮素吸收量多或收获指数高, 而主要是因为其氮素转运量高、氮收获指数大。

表 2 供试油菜品种的生理指标  
Table 2 Physiological parameters of tested oilseed rape cultivars

品种 Cultivar	生物产量 Biomass (g plant <sup>-1</sup> )	籽粒产量 Grain yield (g plant <sup>-1</sup> )	植株含氮量 N concentration of plant (mg g <sup>-1</sup> DW)	籽粒含氮量 N concentration of grain (mg g <sup>-1</sup> DW)	植株全氮 Total N in plant (g plant <sup>-1</sup> )	籽粒全氮 Total N in grain (g plant <sup>-1</sup> )	收获指数 Harvesting index	氮收获指数 N harvesting index
X-36	119.8±9.5	31.0±2.6	27.0±0.9	44.2±1.8	3.22±0.16	1.37±0.07	0.26±0.024	0.43±0.029
X-50	111.4±8.7	25.7±2.9	28.1±1.8	45.5±1.7	3.12±0.23	1.17±0.14	0.23±0.018	0.37±0.029
Average	115.6±9.1	28.4±2.8	27.5±1.4	44.9±1.8	3.17±0.20	1.27±0.11	0.25±0.021	0.40±0.029

### 2.2 不同生育期吸收的氮素在各器官中的分配

根据  $^{15}\text{N}$  示踪结果(图 1), 苗期和蕾薹期吸收的氮素一开始主要分布在叶片中, 占总氮的比例两个品种平均为 83.5%和 66.3%, 开花期吸收的氮素一开始主要分布在叶片和茎中, 占总氮的比例两个品种平均为 42.8%和 36.3%, 而 42.4% (两个品种平均)角果发育期吸收的氮素一开始直接分配到角果中。但是, 随着生育期的进程叶片中分配的氮素比例大幅度减少, 茎和根中分配的氮素比例也减少, 同时角果及籽粒中分配的氮素比例明显增加。以再分配到籽粒的氮素比例最小的 X-50 的苗期吸收氮素为例, 也有 43%的氮素转运到了籽粒中。

试验还表明, 无论哪一个生育期吸收的氮素, 开花期和角果发育期分配到叶片中和收获期分配到籽粒中的比例 X-36 均大于 X-50, 而收获期分配到

角果皮中的比例则 X-36 小于 X-50, 叶片中氮素分布比例大有利于叶片功能的正常发挥, 籽粒中氮素分布比例大有利于提高氮收获指数。

### 2.3 不同生育期单株吸收的氮素向籽粒的转运

作物开花时氮素分布在不同营养器官中, 开花后随着生殖生长的进行与植株的成熟, 贮存在营养器官中的氮素不断地活化、转运、再分配到生殖器官中去。根据  $^{15}\text{N}$  示踪结果(表 3), 转运到籽粒中的氮素比例, 以蕾薹期和开花期吸收的较高, 两个品种平均为 44.3%和 41.2%, 苗期和角果发育期吸收的较低, 两个品种平均为 34.4%和 31.7%; 转运到籽粒中的氮素以蕾薹期吸收的氮素最高, 两个品种平均为 325.8 mg, 其次是开花期和苗期吸收的氮素, 两个品种平均为 218.0 mg 和 203.2 mg, 角果发育期吸收的氮素最低, 两个品种平均为 82.0 mg。籽粒全

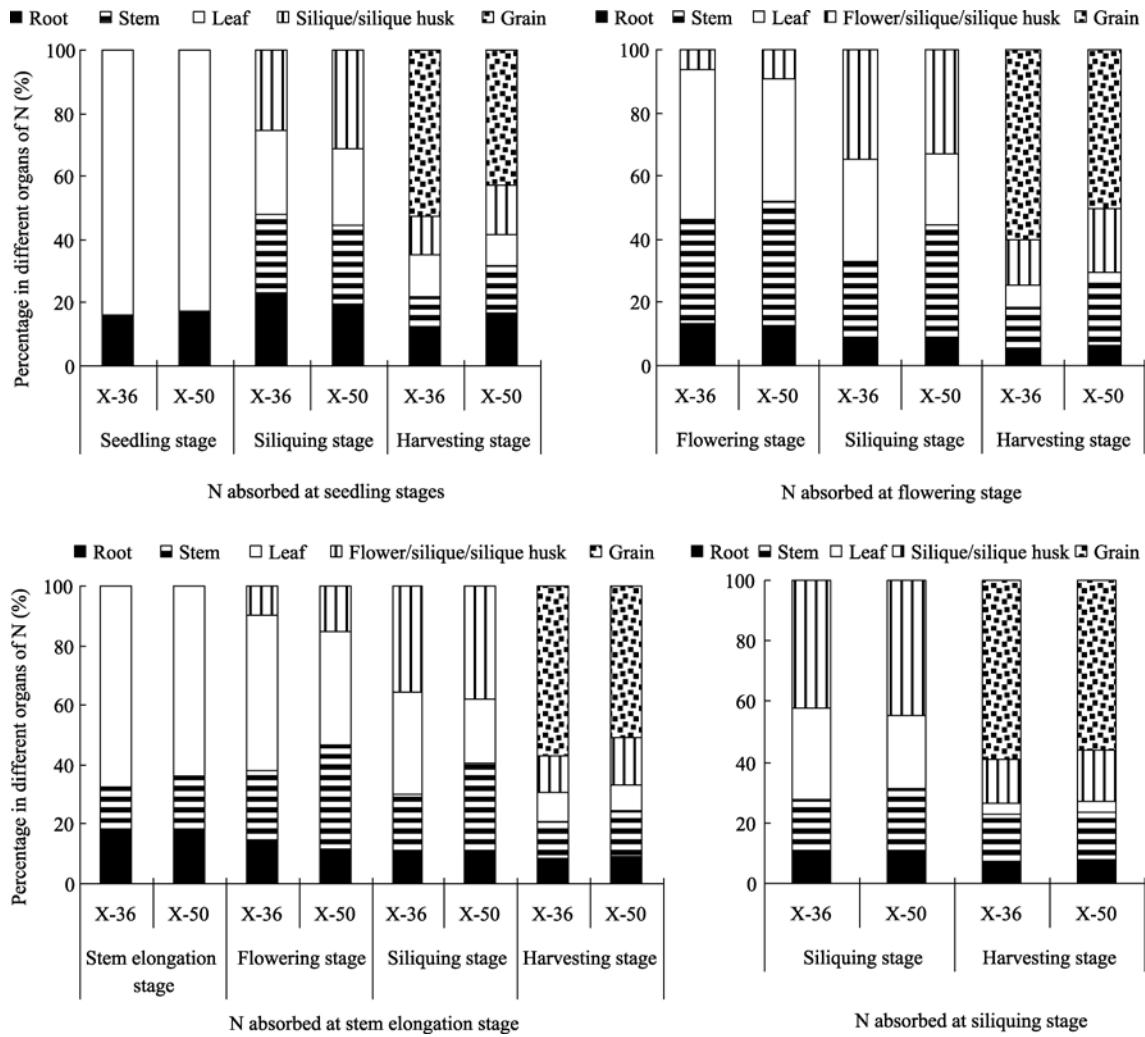


图 1 不同生育期吸收的氮素在体内各器官的百分率

Fig. 1 Percentage in different organs of N absorbed at different growth stages in oilseed rape plant

表 3 不同生育期吸收的氮素向籽粒的转运

Table 3 Translocation to grain of N absorbed at different growth stages

生理指标 Physiological index	品种 Cultivar	苗期吸收的氮 N absorbed at seedling stage	蕾薹期吸收的氮 N absorbed at stem elongation stage	开花期吸收的氮 N absorbed at flowering stage	角果期吸收的氮 N absorbed at siliquing stage	合计 Sum
氮素转运量 Amount of N transferred (mg)	X-36	231.2	325.5	275.5	88.9	921.1
	X-50	175.1	326.0	160.4	75.0	736.5
	平均 Mean	203.2	325.8	218.0	82.0	828.8
氮素转运比例 Proportion of transferred N (%)	X-36	38.2	46.8	49.6	32.8	
	X-50	30.6	41.8	32.8	30.6	
	平均 Mean	34.4	44.3	41.2	31.7	
籽粒氮中转运氮所占的比例 Proportion of transferred N to total N in grain (%)	X-36	16.9	23.8	20.1	6.5	67.2
	X-50	15.0	27.9	13.7	6.4	62.9
	平均 Mean	15.9	25.8	16.9	6.4	65.1

氮中转运氮素所占的比例两品种平均为 65.1%，其中蕾薹期吸收的氮素所占比例最大，两个品种平均为 25.8%，其次是开花期和苗期吸收的氮素，两个

品种平均为 16.9%和 15.9%，角果发育期吸收的氮素最少，两个品种平均为 6.4%。由表 3 还可以看出，除蕾薹期吸收的氮素之外其他 3 个生育期吸收的氮素

向籽粒的转运量均为 X-36 高于 X-50, 其转运比例 4 个生育期均为 X-36 高于 X-50。

上述结果中只有苗期和蕾薹期吸收并分布在生殖器官中的氮素才是真正的由营养器官向生殖器官再分配的氮素, 也就是说, 开花期和角果发育期标记测定的结果不能全部归为再分配的氮素, 因为标记刚结束时有一部分氮素虽然存在于营养器官中, 但并不一定成为营养器官含氮物质的组成成分, 它们可能正处于同化或运输阶段, 这一部分氮素会很快运输到生殖器官中去, 应归于生殖器官直接吸收的氮素, 本试验条件下还无法区分这一部分氮素和真正再分配的氮素, 但这一部分氮素所占的比例较低, 其所带来的误差也较小。

#### 2.4 不同生育期吸收氮素的损失情况

根据  $^{15}\text{N}$  示踪试验结果(表 4), 苗期吸收的氮素

损失比例及单株损失量最大, 两品种平均为 24.0% 和 141.6 mg; 其次是蕾薹期和开花期, 两品种平均损失 10.5% 和 11.7%, 两品种平均单株损失量为 79.2 mg 和 43.2 mg; 角果发育期损失比例及单株损失量最小, 两品种平均为 7.3% 和 16.2 mg; 4 个生育期总的单株损失量两品种平均为 280.2 mg。尚无法明确损失氮素的归宿, 但本试验在玻璃顶网室进行, 可排除雨水淋洗的可能, 试验过程中精心收集了衰老脱落的叶片, 可忽略器官脱落引起的氮素损失, 植物的吐水作用和露水的淋洗而损失的氮素又比较少, 因此地上部分氮素的挥发损失和根系的分泌作用尤其前者是其主要归宿。由表 4 还可以看出, 品种 X-36 的氮素损失比例和单株损失量均少于 X-50, 以 4 个生育期总的单株氮素损失量为例, 前者比后者少 18.1%。

表 4 不同生育期吸收的氮素到收获期的损失比例及单株损失量  
Table 4 Loss of N absorbed from the early stages to harvesting stage

生理指标 Physiological index	品种 Cultivar	苗期吸收的氮 N absorbed at seedling stage	蕾薹期吸收的氮 N absorbed at stem elongation stage	开花期吸收的氮 N absorbed at flowering stage	角果期吸收的氮 N absorbed at siliquing stage	合计 Sum
单株氮素损失量 Loss amount of nitrogen (mg)	X-36	136.4	63.0	35.0	17.9	252.3
	X-50	146.7	95.3	51.4	14.5	307.9
	Mean	141.6	79.2	43.2	16.2	280.2
氮素损失比例 Loss proportion of nitrogen (%)	X-36	22.8	9.0	9.6	8.5	
	X-50	25.1	12.0	13.8	6.1	
	Mean	24.0	10.5	11.7	7.3	

### 3 讨论

刘后利<sup>[12]</sup>指出, 油菜不同生育期植株含氮量大约为 4.5%~1.2%, 前期含量高, 后期含量低, 油菜体内的氮素分配与转运能反映植株各部位的代谢状况及生长中心的变化。本试验也得到了类似的结果, 即以营养生长为主的苗期和蕾薹期, 其吸收的氮素一开始主要分布在叶片, 开花期开始吸收的氮素在叶片中的分配比例则明显下降, 到了角果发育期吸收的氮素较大比例地(42%)直接分配到角果中。

作物开花以后叶、茎等营养器官成为重要的氮源。籽粒中的氮素, 一方面来自生育后期根部的吸收, 另一方面来自营养体中氮素的重新分配, 后者对保证作物生殖生长阶段和生育后期的氮素需要至关重要<sup>[13]</sup>。因为生殖生长阶段器官之间养分竞争比较激烈, 生育后期根系的吸收能力下降, 而土壤氮素往往已经耗竭。因此, 促进茎叶及根系中的氮素尽可能多地向籽粒转运, 减少在非经济产物中的残

留, 增大经济产物的氮素收获指数, 才能达到高产、高效的目的。许多禾谷类作物的研究结果表明, 叶片、茎和生殖器官(如颖片)中的氮素向籽粒的再分配效率大于 60%<sup>[14-15]</sup>, 即使开花后土壤供应氮充足, 也至少有 50% 的籽粒氮素来自营养器官<sup>[14]</sup>。油菜生长后期氮素转运问题目前仅有极少量研究报道, Rossato 等<sup>[16]</sup>在油菜生长后期的主根中鉴定出 23 kD 多肽, 其功能与营养器官氮素的再分配有关; Malagoli 等<sup>[7]</sup>研究指出, 大田油菜籽粒发育所需的氮素中大约有 73% 来自于营养器官氮素的再分配。本试验研究表明, 籽粒氮素中由营养器官再分配来的氮素贡献率为 65.1%, 低于 Malagoli 的研究结果, 这可能是因为本试验为完全营养液的沙培试验, 供氮状况优于大田生长。但是, 以上研究并未涉及对不同生育期吸收的氮素转运情况, 本试验在这方面做了初步探讨, 在所测定的 4 个不同生育期吸收的氮素中, 蕾薹期吸收后转运的氮素所占比例最大, 占籽粒总氮的 25.8%, 其次是开花期和苗期吸收后

转运的氮素, 分别占籽粒总氮的 16.9% 和 15.9%, 角果发育期吸收后转运的氮素最少, 占籽粒总氮的 6.4%。

在作物生长后期氮素的有效再分配, 是其长期适应外界环境系统发育的结果, 它对于缓解作物体内氮素营养缺乏状况、促进作物的高产优质高效以及环境保护等都具有重要意义。但目前对油菜氮素再分配以及与其同时发生的氮素损失问题掌握的资料较少, 对油菜不同生育期吸收的氮素在这方面的差异了解更少。本文较系统地探讨了不同生育期吸收的氮素在生长后期的转运量及其比例和损失量及其比例。结果表明, 蕾薹期吸收的氮素转运量及其比例最高, 而其氮素损失比例较低; 苗期吸收的氮素损失量及其比例最高, 而其转运量及其比例中等。可见, 从提高氮素利用效率的角度, 应重视油菜薹肥的施用。

#### 4 结论

油菜不同生育期吸收的氮素在各器官中的分配比例不同, 生育前期主要分配在叶片中, 随着生育进程叶片中分配的比例明显减少, 向生殖器官再分配的比例明显增加, 生育后期则从一开始即较大比例地分配到生殖器官中。苗期、蕾薹期、开花期和角果发育期吸收的氮素, 从营养器官向生殖器官的转运比例分别为 34.4%、44.3%、41.2% 和 31.7%, 对籽粒全氮的贡献分别为 16.9%、25.8%、15.9% 和 6.4%, 损失比例分别为 24.0%、10.5%、11.7% 和 7.3%。

#### References

- [1] Martre P, Porter J R, Jamieson P D, Tribou E. Modeling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiol*, 2003, 133: 1959–1967
- [2] Gallais A, Floriot M, Pommel B, Prioul J L, Hirel B, Andrieu B, Coque M, Quilleré I. Carbon and nitrogen allocation and grain filling in three maize hybrids differing in leaf senescence. *Eur J Agron*, 2006, 24: 203–211
- [3] Dong G-C(董桂春), Wang Y-L(王余龙), Zhou J(周娟), Zhang B(张彪), Zhang C-S(张传胜), Zhang Y-F(张岳芳), Yang L-X(杨连新), Huang J-Y(黄建晔). Difference of nitrogen accumulation and translocation in conventional *indica* rice cultivars with different nitrogen use efficiency for grain output. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2009, 35(1): 149–155 (in Chinese with English abstract)
- [4] Zhang Y-L(张永丽), Yu Z-W(于振文). Effects of irrigation amount on nitrogen uptake, distribution, use, and grain yield and quality in wheat. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2008, 34(5): 870–878 (in Chinese with English abstract)
- [5] Peoples M B, Dalling M J. The Interplay between Proteolysis and Amino Acid Metabolism during Senescence and Nitrogen Reallocation. In: Nooden L D, Leopold A C, eds. *Senescence Aging in Plant*. San Diego: Academic Press, 1988. pp 181–217
- [6] Thomas H. Enzymes of nitrogen mobilization in detached leaves of *Lolium temulentum* during senescence. *Planta*, 1978, 142: 161–169
- [7] Malagoli P, Laine P, Rossato L, Ourry A. Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus*) from stem extension to harvest. *Ann Bot*, 2005, 95: 853–861
- [8] Zhang Y-H(张耀鸿), Wu J(吴洁), Zhang Y-L(张亚丽), Wang D-S(王东升), Shen Q-R(沈其荣). Genotypic variation of nitrogen accumulation and translocation in japonica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars with different height. *J Nanjing Agric Univ* (南京农业大学学报), 2006, 29(2): 71–74 (in Chinese with English abstract)
- [9] Zhang Y-H(张耀鸿), Zhang Y-L(张亚丽), Huang Q-W(黄启为), Xu Y-C(徐阳春), Shen Q-R(沈其荣). Effects of different nitrogen application rates on grain yields and nitrogen uptake and utilization by different rice cultivars. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2006, 12(5): 616–621 (in Chinese with English abstract)
- [10] Wang H, McCaig T N, Depauw R M, Clerke F R, Clerke J M. Physiological characteristics of recent Canada western red spring wheat cultivars: Components of grain nitrogen yield. *Can J Plant Sci*, 2003, 83(4): 699–707
- [11] Gao J-F(高俊凤). *Experimental Technique of Plant Physiology* (植物生理学实验技术). Xi'an: World Publishing Company, 2000. pp 86–88 (in Chinese)
- [12] Liu H-L(刘后利). *Practical Cultivation in Oilseed Rape* (实用油菜栽培学). Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1987. pp 128–143, 236–237 (in Chinese)
- [13] Séverine S, Nathalie M J, Christian J, Judith B, Christophe S. Dynamics of exogenous nitrogen partitioning and nitrogen remobilization from vegetative organs in pea revealed by <sup>15</sup>N in vivo labeling throughout. *Plant Physiol*, 2005, 137: 1463–1473
- [14] Palta J A, Fillery I R P. N application increases pre-anthesis contribution of dry matter to grain yield in wheat grown on a duplex soil. *Aust J Agric Res*, 1995, 46: 507–518
- [15] Thomas K, Bertrand H, Emmanuel H, Frédéric D, Jacques L G. In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilization to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Res*, 2007, 102: 22–32
- [16] Rossato L, Le Dantec C, Laine P, Ourry A. Nitrogen storage and remobilization in *Brassica napus* L. during the growth cycle: Identification, characterization and immunolocalization of a putative taproot storage glycoprotein. *J Exp Bot*, 2002, 53: 265–275