

不同氮素生理效率油菜生育后期氮素再分配特性研究

宋海星¹, 彭建伟¹, 刘 强¹, 荣湘民¹, 谢桂先¹, 张振华¹, 官春云², 李合松³, 陈社员²

(¹湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; ²国家油料改良中心湖南分中心, 长沙 410128; ³湖南农业大学生命科学学院, 长沙 410128)

摘要:【目的】揭示油菜生育后期氮素再分配与氮素生理效率的关系。【方法】在完全营养液的砂培条件下, 采用 ¹⁵N 示踪方法, 研究了不同氮素生理效率油菜品种生育后期营养体氮素再分配的差异。【结果】与低氮素生理效率品种相比, 高氮素生理效率品种的氮素再分配量大, 氮素再分配速度先慢后快; 向籽粒再分配的氮素量及其比例大, 向角果皮再分配的氮素量及其比例小; 植株体氮素损失量及其比例小, 氮素损失速度慢, 这是高氮素生理效率品种氮收获指数高的主要原因之一。比较 4 个生育期吸收的氮素再分配量及比例表明, 蕾苔期吸收的氮素再分配量及其比例最大, 角果发育吸收的氮素再分配量及比例最小, 苗期和开花期吸收的氮素再分配量及比例位于前二者之间。【结论】生育后期油菜营养体氮素的再分配明显影响其氮素生理效率。

关键词: 油菜; 氮素再分配; 植株体氮素损失

Nitrogen Redistribution Characteristics of Oilseed Rape Varieties with Different Nitrogen Physiological Efficiency During Later Growing Period

SONG Hai-xing¹, PENG Jian-wei¹, LIU Qiang¹, RONG Xiang-min¹, XIE Gui-xian¹, ZHANG Zhen-hua¹,
GUAN Chun-yun², LI He-song³, CHEN She-yuan²

(¹College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128; ²National Center of Oilseed Crops Improvement, Hunan Branch, Changsha 410128; ³College of Life Science, Hunan Agricultural University, Changsha 410128)

Abstract: 【Objective】In order to reveal the relationship between nitrogen redistribution of oilseed rape varieties and its physiological efficiency during later growing period. 【Method】The differences of nitrogen redistribution in vegetative organs of oilseed rape varieties with different nitrogen physiological efficiency during later growing period were studied using ¹⁵N trace method under the sand culture of complete nutrient solution conditions. 【Result】Results showed that high nitrogen physiological varieties had larger amount of organic nitrogen redistribution compared with the low nitrogen physiological efficiency varieties. The speed of nitrogen redistribution was slow at first and then fast, the redistribution amount of nitrogen toward seeds and its proportion was larger, the redistribution amount of nitrogen toward silique husk and its proportion was smaller. The amounts of nitrogen loss from plant and its proportion were smaller, and the velocity of nitrogen loss was slower. This may be one of the main reasons why the varieties with high nitrogen efficiency have high nitrogen harvest indexes. By comparing the redistribution amount of nitrogen and its proportion during the four growing periods, the results indicated that the largest redistribution amount of nitrogen absorbed by plant and its proportion was found in flower bud stage, the smallest redistribution amount and its proportion at siliquing stage, and those were between them at seeding and flowing stages. 【Conclusion】During later growing period, nitrogen redistribution in vegetative of oilseed rape varieties had significant effect upon its nitrogen physiological efficiency.

Key words: Oil-seed rape; Nitrogen reuse; Nitrogen loss from plant

0 引言

【研究意义】作物开花以后叶、茎等营养器官中

的氮素成为生殖器官生长所需氮素的重要来源。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

收稿日期: 2007-05-11; 接受日期: 2007-10-08

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(30671206)、国家“948”项目(2003-Q04)、湖南省自然科学基金重点项目(07JJ3074)、湖南省博士后专项基金项目(2006FJ4265)

作者简介: 宋海星(1964-), 女, 黑龙江汤原人, 副教授, 博士, 研究方向为植物营养生理与遗传。Tel: 0731-4618094; E-mail: haixingsong@yahoo.com.cn

殖生长阶段和生育后期的氮素需要至关重要^[1]。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尽。油菜到收获期, 叶片已全部脱落, 滞留在叶片中的氮素也就随之损失。因此, 促进茎叶及根系中的氮素尽可能多向籽粒转运, 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。【前人研究进展】许多研究表明, 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%^[2,3], 即使开花后土壤氮素供应充足, 籽粒中也至少有 50% 的氮素来自营养器官^[4]。氮素再分配量取决于氮素再转运效率以及体内有效氮的数量, 后者可用开花期贮存在营养器官中的氮素来评价^[5]。营养器官氮素的再分配量存在着明显的基因型差异^[5], 高蛋白品种营养器官衰老过程中氮素的再分配量明显多于低蛋白品种^[6-8], 这是形成高蛋白含量籽粒的重要原因之一。环境条件对氮素再分配利用的影响较大, 低氮^[9]和干旱胁迫^[5,10]促进作物体内氮素再分配, 病虫害的发生则抑制氮素再分配^[11]。生育后期叶片谷氨酰胺合成酶活性与氮素再分配量呈显著正相关, 因而可作为氮素再分配强度的指标^[12]。【本研究切入点】综上所述, 生育后期氮素再分配研究尚未与作物的氮素生理效率结合起来进行, 且以上研究主要集中在小麦、玉米、水稻等禾谷类作物。【拟解决的关键问题】本试验在正常供氮条件下, 以氮素生理效率差异较大的两个油菜品种为试验材料, 采用 ¹⁵N 示踪技术研究了营养体氮素向籽粒的分配及其与氮素生理效率的关系, 以期揭示油菜生育后期氮素再分配动态与氮效率的关系。

1 材料与方 法

1.1 供试品种及试验设计

表 1 ¹⁵N 处理天数及采样时间

Table 1 Time of sampling and days labelled by ¹⁵N

¹⁵ N 标记天数 Days labelled by ¹⁵ N	处理钵数 Pot numbers	采样时间 Sampling time		
		标记结束时 Labelling end	开花期 Flowering	收获期 Harvesting
苗期 21 天 Seedling 21 days	3×6=18	根、茎、叶 Root, stem, leaf		根、茎、叶、果皮、籽粒 Root, stem, leaf, silique husk, grain
蕾苔期 5 天 Stem elongation 5 days	4×6=24	根、茎、叶 Root, stem, leaf	根、茎、叶、花 Root, stem, leaf, flower	根、茎、叶、果皮、籽粒 Root, stem, leaf, silique husk, grain
开花期 5 天 Flowering 5 days	3×6=18	根、茎、叶、花 Root, stem, leaf, flower		根、茎、叶、果皮、籽粒 Root, stem, leaf, silique husk, grain
角果期 9 天 Siliquing 9 days	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

本试验采用砂培试验和 ¹⁵N 示踪方法。选用 30 cm × 30 cm 棕色塑料钵, 生长基质为无营养液成分(用水和稀盐酸清洗干净)的珍珠岩砂粒, 用完全营养液进行培养, 营养液成分是: KNO₃ 5 mmol·L⁻¹; KH₂PO₄ 1 mmol·L⁻¹; MgSO₄ 7 mmol·L⁻¹; Ca(NO₃)₂·4H₂O 5 mmol·L⁻¹; Fe-EDTA 3 mmol·L⁻¹; B 0.5 mg·L⁻¹; Mn 0.5 mg·L⁻¹; Zn 0.05 mg·L⁻¹; Cu 0.02 mg·L⁻¹; Mo 0.01 mg·L⁻¹。¹⁵N 标记时以丰度为 20.28 % 的 Ca(NO₃)₂ 和 KNO₃ (上海化工研究院生产) 为氮源。供试油菜品种为高氮素生理效率品种 X-36 和低氮素生理效率品种 X-50, 于 2005 年 9 月 25 日育苗, 11 月 2 日移栽, 每钵移苗一棵, 每品种培养 72 钵, 2006 年 5 月 5 日收获, 重复 6 次(每品种每次采 6 株)。¹⁵N 标记天数及标记后的采样时间见表 1。每次进行 ¹⁵N 标记后, 标记结束时, 除采样株外其它植株均移栽到不含 ¹⁵N 的盆钵中继续培养, 以区分转运氮素与吸收同化氮素。

1.2 测定与计算方法

两个品种均按表 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。烘干样品磨碎过筛后用于测定含氮量及 ¹⁵N 丰度。适时收集落叶, 以便准确测定生物产量、计算全氮量。

植株含氮量的测定采用凯氏定氮法, 根据生物量及含氮量计算植株全氮、籽粒全氮、氮素生理效率、收获指数及氮收获指数, 计算公式如下:

(1) 以生物产量为基础的氮素生理效率=生物产量÷植株全氮量;

(2) 以籽粒产量为基础的氮素生理效率=籽粒产量÷植株全氮量;

(3) 收获指数=籽粒产量÷生物产量;

(4) 氮收获指数=籽粒全氮量÷植株全氮量。

¹⁵N 丰度由河北省农业科学院遗传研究所利用 MAT

质谱仪测定。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}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, 计算营养器官氮素向生殖器官的转运量及其比例、氮素的损失量及其比例。计算公式如下:

(1) 氮素转运比例=生殖器官 ^{15}N 累积量(开花期和角果发育期标记处理, 生殖器官 ^{15}N 累积量中减去标记结束时生殖器官中的 ^{15}N 量)÷标记结束时植株 ^{15}N 累积量×100%;

(2) 氮素转运量=氮素转运比例×标记结束时植株氮素累积量;

(3) 氮素损失比例=[标记结束时植株 ^{15}N 累积量-收获期(或角果发育期)植株 ^{15}N 累积量]÷标记结束时植株 ^{15}N 累积量×100%;

(4) 氮素损失量=氮素损失比例×标记结束时植株

氮素累积量。

所有数据采用 SPSS 统计软件进行 t 检验。

2 结果与分析

2.1 不同氮素生理效率油菜生物量及氮素生理效率

表 2 是两个供试油菜品种的产量、含氮量及其相关指标的测定结果。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、以籽粒产量为基础的氮素生理效率及氮收获指数均高于 X-50, t 检验结果表明, 此三项指标在两个油菜品种之间的差异达到了显著水平。X-36 的生物产量、植株全氮量以及以生物产量为基础的氮素生理效率也略高于 X-50, 但是未达到显著水平。可见, X-36 的籽粒产量与氮素生理效率比 X-50 高并不是因为其氮素吸收量多, 而是因为其氮素生理效率和氮收获指数大。

表 2 油菜产量与氮素吸收量

Table 2 Yield of seed rape and nitrogen uptake amount

	X-36	X-50	平均 Average
生物产量 Biomass (g/plant)	119.8±9.5	111.4±8.7	115.6
籽粒产量 Grain yield (g/plant)	31.0±2.6*	25.7±2.9	28.4
植株含氮量 N content of plant (mg·g ⁻¹ DW)	27.0±0.9	28.1±1.8	27.5
籽粒含氮量 N content of grain (mg·g ⁻¹ DW)	44.2±1.8	45.5±1.7	44.9
植株全氮 Total N of plant (g/plant)	3.22±0.16	3.12±0.23	3.17
籽粒全氮 Total N of grain (g/plant)	1.37±0.07	1.17±0.14	1.27
籽粒产量/植株全氮 Grain yield / N uptake amount (g·g ⁻¹)	9.6±0.75*	8.2±0.75	8.9
生物产量/植株全氮 Biomass / N uptake amount (g·g ⁻¹)	37.1±1.2	35.7±2.3	36.4
收获指数 Harvesting index	0.26±0.024	0.23±0.018	0.25
氮收获指数 N harvesting index	0.43±0.029*	0.37±0.029	0.40

* 表示 t 检验结果两个品种之间的差异达到了显著水平 ($P<0.05$)。下同

* Indicated that differences between varieties in t-test are significant at $P<0.05$ level. The same as below

2.2 不同氮素生理效率油菜氮素转运量及其比例

根据 ^{15}N 示踪试验结果计算各生育期吸收的氮素向生殖器官的转运量及其比例列于表 3。由表 3 可以看出, 除蕾苔期吸收的氮素向籽粒的转运量两品种比较接近之外, 其它测定值 X-36 均高于 X-50。t 检验表明, 苗期、开花期、角果发育期吸收的氮素转运量及苗期、开花期吸收的氮素转运比例的品种间差异达到了显著水平。与此相反, 向角果皮的转运量及其比例则 X-36 低于 X-50, 其中蕾苔期和角果发育期吸收的氮素其转运量差异品种间达到了显著水平 (t 检验)。试验还表明, 角果发育期向角果皮的转运量及其比例为负值, 说明, 此时角果皮已成为氮素的“源”。在所测定的 4 个生育期中, 蕾苔期吸收氮素的转运量最

高, 其次是苗期和开花期吸收的氮素, 角果发育期吸收的氮素其转运量最低; 开花期和蕾苔期吸收的氮素其转运比例较高, 苗期和角果发育期吸收的氮素其转运比例较低。根据表 3 的氮素转运量与表 2 的籽粒全氮量计算转运氮素对籽粒氮素的贡献率表明, X-36 和 X-50 分别为 67.2% 和 62.9%, 两品种平均为 65.1%。

2.3 不同氮素生理效率油菜营养器官氮素的再分配速度

表 4 列出了苗期和蕾苔期吸收的氮素到开花期、角果发育期和收获期时, 向生殖器官再分配的量及其比例。从表 4 可以看出, 收获期测定的氮素再分配比例 X-36 大于 X-50, 角果发育期或开花期测定的氮素再分配比例 X-36 小于 X-50, 说明全生育期的氮素再

表 3 不同生育期吸收的氮素向生殖器官的转运量及其比例

Table 3 Transferring amount and its proportion of nitrogen absorbed at different growing stages to reproductive organs

	氮素转运量 N transferring amount (mg/plant)						氮素转运比例 N transferring proportion (%)					
	籽粒 Grain			角果皮 Silique husk			籽粒 Grain			角果皮 Silique husk		
	X-36	X-50	平均 Average	X-36	X-50	平均 Average	X-36	X-50	平均 Average	X-36	X-50	平均 Average
苗期吸收的氮 N absorbed at seedling stage	231.2*	175.1	203.2	53.0	61.3	57.2	38.2*	30.6	34.4	8.9	10.7	9.8
蕾苔期吸收的氮 N absorbed at stem elongation stage	325.5	326.0	325.8	71.2	101.5*	86.4	46.8	41.8	44.3	10.3	13.1*	11.7
开花期吸收的氮 N absorbed at flowering stage	275.5*	160.4	218.0	49.2	55.3	52.3	49.6*	32.8	41.2	8.9	11.4	10.2
角果期吸收的氮 N absorbed at siliquing stage	88.9*	75.0	82.0	-19.9*	-14.9	-17.4	32.8	30.6	31.7	-8.0*	-6.2	-7.1
合计 Sum	921.1	736.5	828.8	153.5	203.2	178.4						

表 4 氮素再分配量及其比例的变化动态

Table 4 Dynamic of nitrogen redistribution and its proportion

	生育期 Development stage	氮素再分配量 N redistribution amount (mg/plant)			氮素再分配比例 N redistribution proportion (%)		
		X-36	X-50	平均 Average	X-36	X-50	平均 Average
苗期吸收的氮素 N absorbed at seedling stage	角果期 Siliquing	131.1	144.9	138.0	21.6	25.2	23.4
	收获期 Harvesting	284.2*	236.4	260.3	47.1	41.3	44.2
蕾苔期吸收的氮素 N absorbed at stem elongation stage	开花期 Flowering	63.6	111.8*	87.7	9.2	14.6*	11.9
	角果期 Siliquing	230.9	264.2	247.6	32.9	33.8	33.4
	收获期 Harvesting	397.8	430.5	414.2	57.1*	44.9	51.0

分配比例 X-36 大于 X-50, 而角果发育期或开花期以前的氮素再分配比例 X-36 则小于 X-50。以蕾苔期吸收的氮素为例, 到开花期时 X-36 有 9.2%、X-50 有 14.6% 的氮素再分配到花中; 到角果发育期 X-36 有 32.9%、X-50 有 33.8% 的氮素再分配到角果中; 到收获期, X-36 有 57.1%、X-50 有 44.9% 的氮素再分配到角果中。氮素分配比例的变化动态是由 X-36 低于 X-50 (开花期) 转变为高于 X-50 (收获期)。氮素再分配量也有类似的变化趋势, 只是因为 X-36 在蕾苔期吸收的氮素较少, 其转运量也相对低一些。总之, 供试两个油菜品种在氮素再分配过程中其再分配速度有不同的变化, X-36 的再分配速度前期相对于 X-50 慢、后期相对于 X-50 快。X-36 的以上特点有利于其营养器官不至于因氮素再分配而引起早衰。t 检验表明, 苗期吸收的氮素到收获期的再分配量, 蕾苔期吸收的氮素到开花期的再分配量与比例以及到收获期的再分配比例, 两个品种之间差异达到了显著水平。

2.4 不同氮素生理效率油菜植株体氮素损失量及其比例

根据 ^{15}N 示踪试验结果进行氮素平衡分析, 可计算出各生育期吸收的氮素在角果发育期前和收获期前

以及角果发育期到收获期之间的损失量及其比例 (表 5)。由表 5 可以看出, 虽然两个品种间氮素损失量及其比例差异并没有全部达到显著水平, 但总的趋势是 X-36 少于 X-50。比较不同生育期吸收的氮素损失情况, 苗期吸收的氮素损失量及其比例最大, 其次是蕾苔期和开花期吸收的氮素, 角果发育期吸收的氮素损失量及其比例最小。计算角果发育期以后损失的氮素占总损失氮的比例可以看出, 两个品种均为角果发育期以后的氮素损失比例略少于角果发育期以前的损失比例。值得注意的是, 角果发育期以后损失的氮素占总损失氮素的比例, 苗期和开花期吸收的氮素均为 X-36 大于 X-50, 蕾苔期吸收的氮素两个品种比较接近, 说明 X-36 与 X-50 相比, 角果发育期以后损失相对较多的氮素, 角果发育期以前损失相对较少的氮素, 即 X-36 的氮素损失速度变化相对于 X-50 来说由慢到快, 这有利于减缓氮素损失速度, 防止叶片等器官早衰。

3 讨论

3.1 油菜生育后期氮素再分配与氮素生理效率的关系

在植物生长过程中, 各部位在不同发育时期都可能发生氮素的再分配。如根系较老部位的氮素重新调

表 5 氮素损失量及其比例

Table 5 Nitrogen loss amount and its proportion

		氮素损失量 Nitrogen loss amount (mg/plant)			氮素损失比例 Nitrogen loss proportion (%)		
		角果期	收获期	收获期-角果期	角果期	收获期	收获期-角果期
		Siliquing	Harvesting	Harvesting-siliquing	Siliquing	Harvesting	Harvesting-siliquing
苗期吸收的氮	X-36	68.6	136.4	67.8 (50)	11.5	22.8	11.3
N absorbed at seedling stage	X-50	97.2*	146.7	49.5 (34)	17.2*	25.1	7.9
	平均 Average	82.9	141.6	58.7	14.4	24.0	9.6
蕾苔期吸收的氮	X-36	37.5	63.0	25.5 (40)	5.6	9.0	3.4
N absorbed at stem	X-50	53.1*	95.3*	42.2 (44)	6.7	12.0	5.3
elongation stage	平均 Average	45.3	79.2	33.9	6.2	10.5	4.4
开花期吸收的氮	X-36	22.7	35.0	12.3 (35)	4.7	9.6	4.9
N absorbed at flowering stage	X-50	44.6*	51.4*	6.8 (13)	8.7*	13.8	5.1
	平均 Average	33.7	43.2	9.6	6.7	11.7	5.0
角果期吸收的氮	X-36	-	17.9	-	-	8.5	-
N absorbed at siliquing stage	X-50	-	14.5	-	-	6.1	-
	平均 Average	-	16.2	-	-	7.3	-

括号中的数字为角果发育期以后损失的氮素占总损失氮素的比例

Data in brackets are the percentages of nitrogen loss to nitrogen total loss amount after siliquing stage

运到正在生长的根尖中；基部叶片中的氮素调运到上部扩展的叶片中。尤其是开花后，大量氮素从营养器官再分配到籽粒中，关于此已有小麦^[1~7]、水稻^[8]、大麦^[9]、玉米^[13]、豌豆^[14]等多种作物的研究报道。结果显示，籽粒中由营养器官转运来的氮素的比率为50%~95%不等，这与作物种类、品种、氮水平等条件的不同有关。本试验研究了油菜营养器官氮素的再分配情况，结果表明，籽粒氮素中由营养器官再分配来的氮素的比率为65.1%，与前人的研究结果基本一致。但是，以上研究并未对不同生育期吸收的氮素转运量及其比例进行比较，本试验在此方面做了初步探讨，在所测定的4个不同生育期吸收的氮素中，蕾苔期吸收的氮素转运量及其比例最大，其次是苗期和开花期吸收的氮素，角果发育期吸收的氮素转运量及其比例最小。

植物体内养分的有效循环利用被普遍认为是养分高效的生理机制之一。如，小麦在缺磷条件下，根和无效分蘖中的磷向主茎转移，同时主茎和有效分蘖各营养器官和颖壳中的磷向籽粒转移^[15]；油菜和玉米磷高效品种的耐低磷胁迫营养机制主要表现为生育前期根系吸磷能力较强，生育中后期再分配能力较强^[16,17]；硼在植物体内移动性较小，尽管如此，硼高效油菜品种在缺硼条件下，能将吸收的硼较大限度地向蕾花分配或优先向蕾花运输，使蕾花含硼量显著高于硼低效品种，但其下位叶含硼量显著小于硼低效品种^[18]。而

在众多氮素循环再利用的研究报道中，营养器官氮素再分配与氮效率的关系方面研究却很少。本试验比较了不同氮素生理效率的两个油菜品种营养体氮素转运再分配情况，结果表明，二者不仅在氮素再分配量与比例上有差异，而且其再分配速度的变化趋势上也存在差异，即高氮素生理效率品种 X-36 与低氮素生理效率品种 X-50 相比，氮素再分配速度角果发育期前相对较慢，角果发育期以后又相对较快，因而使前者既有较大的氮素再分配量，又保证其营养器官不至于因氮素转运量多而引起早衰。试验还表明，转运的氮素在生殖器官不同部位上的分配情况也不同，向籽粒分配的氮素 X-36 多于 X-50，但是向角果皮分配的氮素 X-36 则低于 X-50，这是 X-36 的氮收获指数较高的原因之一。以上结果表明，油菜生育后期营养体氮素的再分配强度及分配速度的变化动态是影响氮素生理效率的重要因素之一。

一般而言，氮高效品种往往在低氮胁迫条件下会更好地发挥其比氮低效品种的优势，但是，笔者以不同氮效率油菜品种为试验材料进行研究表明，氮胁迫条件下氮高效品种的生育后期营养体氮素再分配量并没有表现出优势。这也说明了氮高效品种并不是所有的指标均优越于氮低效品种。另外，分析氮素吸收效率和氮素生理效率对氮效率的贡献表明：在氮胁迫条件下氮素吸收效率和氮素生理效率均有较大的变异，氮效率的差异来源于二者共同的变异；在正常供氮条

件下, 氮素吸收效率的变异较小, 氮素生理效率的变异较大, 氮效率的差异主要来源于氮素生理效率的变异。也就是说, 氮素生理效率在正常供氮条件下显得尤为重要。以本试验涉及的两个品种为例, 在正常供氮条件下, X-36 以较低的吸氮量获得较高的产量, 因而使其氮效率和氮收获指数较高, 表现出体内氮素生理效率的重要性。再次说明了氮素吸收效率和生理效率对氮效率基因型差异的相对重要性随作物种类、基因型和环境条件的变化而改变^[19,20]。基于以上情况, 本文暂且只讨论正常供氮条件下的氮素再分配特性, 不同氮水平下氮素再分配特性的比较研究有待于今后进一步深入。

3.2 油菜氮素损失与氮效率的关系

已有很多试验证据表明, 氮素损失是植物生长过程中的普遍生理现象, 氮素损失量大小除与植物本身特性有关外, 还受外界条件的影响^[21,22], 但是, 植物体氮素损失与氮效率的关系研究报道较少。吴小庆等^[23]研究指出, 水稻开花以后地上部氮挥发损失量与氮肥利用效率呈负相关, 水稻生长后期衰老叶片中的氮素向籽粒的再分配能力, 可能是导致品种间氮挥发量差异的主要原因。本试验发现, 高氮素生理效率品种不仅其氮素再分配量高于低氮素生理效率品种, 而且氮素损失量低于低氮素生理效率品种, 支持了以上观点。本试验还表明, 除氮素损失量之外, 不同生育期的氮素损失量占总损失量的比例也有差异, 高氮素生理效率品种 X-36 的氮素损失比例角果发育期以前少于低氮素生理效率品种 X-50, 角果发育期以后多于低氮素生理效率品种 X-50, 即高氮素生理效率品种的氮素损失速度慢于低氮素生理效率品种, 这些特点有益于延缓植株衰老、延长叶片光合时间。以上结果表明, 减少植物的氮素损失及延迟氮素损失时间, 对提高氮素利用效率具有非常重要的意义。

本试验尚无法明确回答损失氮素的归宿, 但本试验在玻璃顶网室中进行, 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是其主要归宿^[24]。Mattsson 等^[25]发现两种不同基因型草 (*Lolium perenne* 和 *Bromus* sp.) 的氮挥发量可相差 1 倍以上, 这说明筛选氮挥发低的植物减少植株氮素损失, 提高氮素利用效率是切实可行的方法, 有必要今后进一步研究。

4 结论

4.1 高氮素生理效率油菜品种氮素再分配量大、再分配速度相对先慢后快, 向籽粒再分配的氮素量及其比例较大、向角果皮再分配的氮素量及其比例较小。

4.2 高氮素生理效率油菜品种, 氮素损失量及比例较少, 氮素损失速度相对较慢。

4.3 在各生育期吸收的氮素中, 蕾苔期吸收的氮素再分配量及比例最大。

References

- [1] Andersson A, Johansson E, Oscarson P. Nitrogen redistribution from the roots in post-anthesis plants of spring wheat. *Plant and Soil*, 2005, 269: 321-332.
- [2] 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. *Australian Journal of Agricultural and Research*, 1995, 46(3): 507-518.
- [3] Masoni A, Ercoli L, Mariotti M, Arduini I. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. *European Journal of Agronomy*, 2007, 26: 179-186.
- [4] Rosolem C A, Kato S M, Machado J R, Bicudo S J. Nitrogen redistribution to sorghum grains as affected by plant competition. *Plant and Soil*, 1993, 155/156: 199-202.
- [5] Barbottin A, Lecomte C, Bouchard C, Jeuffroy M H. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. *Crop Science*, 2005, 45: 1141-1150.
- [6] 田纪春, 张忠义, 梁作勤. 高蛋白和低蛋白小麦品种的氮素吸收和运转分配差异的研究. *作物学报*, 1994, 20(1): 76-83.
Tian J C, Zhang Z Y, Liang Z Q. Studies on the difference of nitrogen absorption transportation and distribution in high and low protein wheat cultivars. *Acta Agronomica Sinica*, 1994, 20(1): 76-83. (in Chinese)
- [7] Martre P, Porter J R, Jamieson P D, Triboï E. Modeling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiology*, 2003, 133: 1959-1967.
- [8] 刘 强, 荣湘民, 朱红梅, 彭建伟, 卢向阳, 陈静彬. 不同水稻品种在不同栽培条件下氮代谢的差异. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2001, 27(6): 415-420.
Liu Q, Rong X M, Zhu H M, Peng J W, Lu X Y, Chen J B. Nitrogen metabolism of different rice cultivars under different cultivations. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2001,

- 27(6): 415-420. (in Chinese)
- [9] Przulj N, Momcilovic V. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley. II. Nitrogen translocation. *European Journal of Agronomy*, 2001, 15: 255-265.
- [10] Xu Z Z, Yu Z W, Wang D. Nitrogen translocation in wheat plants under soil water deficit. *Plant and Soil*, 2006, 280: 291-303.
- [11] Dimmock J P R E, Gooding M J. The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. *The Journal of Agricultural Science*, 2002, 138: 349-366.
- [12] Kichey T, Hirel B, Heumez E, Dubois F, Le Gouis J. 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 Research*, 2007, 102: 22-32.
- [13] Pommel B, Gallais A, Coque I, Quilleré I, Hirel B, Prioul J L, Andrieu B, Floriot M. Carbon and nitrogen allocation and grain filling in three maize hybrids differing in leaf senescence. *European Journal of Agronomy*, 2006, 24(3): 203-211.
- [14] Schiltz S, Munier-Jolain N, Jeudy C, Burstin J, Salon C. Dynamics of exogenous nitrogen partitioning and nitrogen remobilization from vegetative organs in pea revealed by ^{15}N *in vivo* labeling throughout Seed filling. *Plant Physiology*, 2005, 137: 1463-1473.
- [15] 彭正萍, 李春俭, 门明新. 拔节和挑旗期缺磷对两小麦品种体内磷分配的影响. *中国农业科学*, 2004, 37(9): 1341-1346.
Peng Z P, Li C J, Men M X. Phosphorus distribution in two wheat cultivars as affected by P deficiency at jointing and flagging stage. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(9): 1341-1346. (in Chinese)
- [16] 张丽梅, 贺立源, 李建生, 徐尚忠. 不同耐低磷基因型玉米磷营养特性研究. *中国农业科学*, 2005, 38(1): 110-115.
Zhang L M, He L Y, Li J S, Xu S Z. Phosphorus nutrient characteristics of different maize inbreds with tolerance to low-P stress. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(1): 110-115. (in Chinese)
- [17] 段海燕, 徐芳森, 王运华. 甘蓝型油菜不同品种磷运转和再利用差异的研究. *中国油料作物学报*, 2002, 24(4): 46-49.
Duan H Y, Xu F S, Wang Y H. Study on difference of phosphorus allocation and accumulation among different cultivars of *Brassica napus*. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2002, 24(4): 46-49. (in Chinese)
- [18] 石磊, 年夫照, 赵华, 徐芳森, 孟金陵, 王运华. 7个甘蓝型油菜品种对硼胁迫反应的差异. *中国油料作物学报*, 2004, 26(1): 47-50.
Shi L, Nian F Z, Zhao H, Xu F S, Meng J L, Wang Y H. Responses to boron deficiency in 7 varieties of rape (*Brassica napus* L.). *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2004, 26(1): 47-50. (in Chinese)
- [19] 刘建安, 米国华, 陈范骏, 张福锁. 玉米杂交种氮效率基因型差异. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(3): 276-281.
Liu J A, Mi G H, Chen F J, Zhang F S. Genotype differences on nitrogen use efficiency among maize hybrids. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(3): 276-281. (in Chinese)
- [20] 李淑文, 文宏达, 周彦珍, 李雁鸣, 肖凯. 不同氮效率小麦品种氮素吸收和物质生产特性. *中国农业科学*, 2006, 39(10): 1992-2000.
Li S W, Wen H D, Zhou Y Z, Li Y M, Xiao K. Characterization of nitrogen uptake and dry matter production in wheat varieties with different N efficiency. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(10): 1992-2000. (in Chinese)
- [21] Husted S, Schjoerring J K. Ammonia flux between oilseed rape plants and the atmosphere in response to changes in leaf temperature, light intensity, and air humidity. *Plant Physiology*, 1996, 112: 67-74.
- [22] Schjoerring J K, Husted S, Mäck G, Nielsen K H, Finnemann J, Mattsson M. Physiological regulation of plant-atmosphere ammonia exchange. *Plant and Soil*, 2000, 221: 95-102.
- [23] 吴小庆, 徐阳春, 沈其荣, 郭世伟. 不同氮肥利用效率水稻品种开花后地上部分氨挥发研究. *中国水稻科学*, 2006, 20(4): 429-433.
Wu X Q, Xu Y C, Shen Q R, Guo S W. Ammonia volatilization from shoots of different rice genotypes with different nitrogen use efficiency after flowering. *Chinese Journal of Rice Science*, 2006, 20(4): 429-433. (in Chinese)
- [24] Lon S, Chen N C, Chishaki N, Inanaga S. Behavior of nitrogen absorbed at different growth stages of rice plants. *Ecology and Environment*, 2005, 14(4): 567-573.
- [25] Mattsson M, Schjoerring J K. Dynamic and steady-state responses of inorganic nitrogen pools and NH_3 exchange in leaves of *Lolium perenne* and *Bromus erectus* to changes in root nitrogen supply. *Plant Physiology*, 2002, 128: 742-750.

(责任编辑 李云霞)