

不同品种油菜生长后期体内氮素转运 及再分配差异研究*

杨明^{1,2} 宋海星^{1**} 徐浩然¹ 刘强¹ 荣湘民¹
朱兆坤¹ 王小娟¹ 杨兰¹

(1. 湖南农业大学资源环境学院 农田污染控制与农业资源利用湖南省重点实验室 植物营养湖南省普通高等学校重点实验室 长沙 410128; 2. 河北工程技术高等专科学校学生处 沧州 061001)

摘要 为探明影响油菜生长后期氮素再分配的生理因素及其与氮素利用效率的关系, 本文在严格控制氮素供应水平的砂培条件下, 采用¹⁵N示踪技术研究了不同氮素水平下2个油菜品种吸收氮素后在体内的分配、转运及损失情况。结果表明, 供试2个油菜品种的生物产量、籽粒产量、籽粒含氮量、植株全氮、籽粒全氮、收获指数和氮收获指数均存在较大差异, 且以上差异因氮素水平不同而有所不同。常氮处理下, 品种“742”的生物产量、籽粒产量、籽粒全氮、收获指数和氮素收获指数均高于品种“814”; 低氮处理下, 品种“742”的植株含氮量、籽粒含氮量、收获指数和氮素收获指数高于品种“814”, 而生物产量、籽粒产量、植株全氮和籽粒全氮低于品种“814”。采用¹⁵N示踪方法测定油菜生长后期氮素再分配的结果表明, 供试油菜品种生长后期营养器官氮素减少量及其比例、转向生殖器官的氮素再分配量存在明显差异。不同氮素水平下, 品种“742”大多数营养器官的氮素减少量均高于品种“814”, 而且茎的减少量差异最为明显。常氮水平下, 品种“742”根、叶中氮素减少比例均少于品种“814”, 而茎中氮素减少量远远大于品种“814”; 低氮水平下, 品种“742”根、茎、叶中氮素减少比例均大于品种“814”。在常氮和低氮处理下转向生殖器官的氮素再分配量均表现为, 品种“742”向角果皮再分配的氮素低于品种“814”, 向籽粒再分配的氮素则高于“814”。T检验结果表明, 2个品种除常氮条件下向角果皮再分配的氮素之外, 其他再分配氮素的差异都达到显著水平, 说明油菜生长后期由营养器官向生殖器官的氮素再分配有助于提高氮素利用效率。油菜生长后期氮素损失量表现为, 品种“742”在常氮处理下的氮素损失量及其比例小于品种“814”, 低氮处理时反之。

关键词 油菜 收获指数 ¹⁵N示踪技术 氮素转运 氮素再分配 氮素损失

中图分类号: Q945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2012)10-1289-06

Transport and redistribution of nitrogen at late growth stages in different oilseed rape cultivars

YANG Ming^{1,2}, SONG Hai-Xing¹, XU Hao-Ran¹, LIU Qiang¹, RONG Xiang-Min¹,
ZHU Zhao-Kun¹, WANG Xiao-Juan¹, YANG Lan¹

(1. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University; Key Laboratory of Farmland Pollution Control and Agricultural Resources Utilization in Hunan Province; Key Laboratory of Plant Nutrition of Hunan Colleges and Universities, Changsha 410128, China; 2. Hebei Engineering and Technical College, Cangzhou 061001, China)

Abstract This paper used ¹⁵N tracer method in sand culture conditions to determine the physiological factors of N redistribution and its relationship with N utilization efficiency. The paper also studied the differences in N distribution, transshipment and loss under different N levels in different N-efficient oilseed rape cultivars. The results showed that different N levels had different outputs in terms of biomass, grain yield, grain N content, plant N content, plant total N, grain total N, harvest index, accumulated N and N

* 国家自然科学基金项目(31071851, 30971860, 31101596)、湖南省高校创新平台开放基金项目(10K034)、国家油菜产业技术体系栽培生理岗位和湖南省重大专项(2009FJ1006-1,3)资助

** 通讯作者: 宋海星(1964—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为植物营养生理。E-mail: haixingsong@yahoo.com.cn
杨明(1985—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为植物营养生理。E-mail: ymyifanfengshun@yahoo.com.cn

收稿日期: 2012-02-28 接受日期: 2012-07-09

harvest index of selected oilseed rapes. Under normal N level, oilseed rape cultivar “742” had higher biomass, grain yield, grain total N, harvest index and N harvest index than cultivar “814”. However, rape cultivar “742” had lower grain N content, plant N content and plant total N than “814” at low N level. Oilseed rape cultivar “742” had higher plant N content, grain N content, harvest index and N harvest index at peduncle growth stage than “814”. At harvest stage, however, “742” had lower biomass, grain yield, plant total N and grain total N than “814”. ^{15}N tracer method results showed decreasing N amount in vegetable organs and the proportions and redistributions of N in propagative organs were significantly different. Under different N levels, N decline in root and stem in cultivar “742” was higher than in “814”. This difference was especially evident in the stems of the oilseed rape cultivars. Under normal N level, the proportions of N decline in roots and leaves were lower in cultivar “742” than in “814”. However, the proportion of N decline in stems was much higher in cultivar “742” than in “814”. Under low N level, the proportion of N decline in all vegetable organs was highest in cultivar “742”. Under normal or low N levels, less N was redistributed to silique husk of cultivar “742” than in cultivar “814”. However, more N was redistributed to grain of “742” than “814”. T-test showed that the amounts of redistributed N were significantly different, except for silique husk under normal N level. This implied that N redistribution from vegetative organs benefited N use efficiency. Furthermore, with normal N level, N loss and proportion in oilseed rape cultivar “742” were higher than in “814”, and the reverse was the case for low N level.

Key words Oilseed rape, Harvest index, ^{15}N tracer method, Nitrogen translocation, Nitrogen redistribution, Nitrogen loss
(Received Feb. 28, 2012; accepted Jul. 9, 2012)

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^[1-4], 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^[4-5]。许多禾谷类作物的研究表明, 叶片、茎和生殖器官中的氮素向籽粒的再分配效率大于60%^[6-7], 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。Rossato等^[8]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^[9]研究表明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。另外有研究表明, 油菜生长前期的氮素吸收能力强于其他植物, 但是到角果发育期其氮素吸收能力明显减少^[10-12]。张振华等^[1]研究发现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 mg、325.8 mg、218.0 mg和82.0 mg。在籽粒全氮中转运氮占籽粒含氮总量的65.1%, 其中蕾薹期吸收后转运的氮素所占比例最大, 说明油菜生长后期所需的氮素更加依赖于营养器官氮素的再分配, 生长后期的氮素转运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^[4]。因此, 了解作物生长后期体内氮素的分配与再分配规律, 是合理施用氮肥、提高作物产量的重要保证。目前有关氮素转运的研究多集中在小麦、玉米等禾谷类作物上, 关于油菜氮素同化与生理功能方面的报道较少, 而关于油菜生长后期氮素转运问题方面的理论研究则更少。本试验采用同位素示踪技术研究了不同供氮水

平下不同品种油菜生育后期氮素再分配、转运及损失情况的差异, 并分析了氮素再分配量与氮素利用效率的关系, 以期揭示油菜高效利用氮素的生理机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料及试验设计

1.1.1 供试材料

供试油菜品种由国家油料作物改良研究中心湖南分中心提供, 根据课题组以往研究结果选用正常供氮条件下氮素效率差异较大的2个油菜品种为试验材料, 分别为氮高效品种“742”和氮低效品种“814”。

1.1.2 试验设计

本试验采用砂培试验, 于2009年9月25日育苗, 11月2日移栽, 2010年5月2日收获。设2个油菜品种、2个供氮水平(常氮水平和低氮水平), 完全方案, 共4个处理, 重复15次, 共60钵。选用30 cm×30 cm棕色塑料钵进行砂培试验, 每钵1株, 完全随机区组排列, 用Hoagland完全营养液, 按不同时期油菜正常生长的营养需求量进行浇灌。其中常氮处理完全营养液配方为: KNO_3 5 mmol·L⁻¹, KH_2PO_4 1 mmol·L⁻¹, MgSO_4 7 mmol·L⁻¹, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 5 mmol·L⁻¹, Fe-EDTA 3 mmol·L⁻¹, B 0.5 mmol·L⁻¹, Mn 0.5 mmol·L⁻¹, Zn 0.05 mg·L⁻¹, Cu 0.02 mg·L⁻¹, Mo 0.01 mg·L⁻¹; 低氮处理营养液配方中除氮浓度为正常供氮处理的1/2之外其他成分与正常供氮相同。

在油菜抽苔期供应一段时间(20 d) ^{15}N 营养液, 待标记结束时, 收获其中的一部分植株(全株采样), 大部分移栽到无 ^{15}N 营养液条件下继续培养, 至收获期收获全株, 根据植株样营养器官和生殖器官

^{15}N 丰度的变化计算有机氮再分配量与再分配速度。适时收集落叶,以便准确测定生物量、全氮及 ^{15}N 丰度。

1.2 指标测定与计算方法

2个品种均在抽薹期和收获期采全株样,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 ^{15}N 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:

$$\text{以生物产量为基础的氮素生理效率}^{[2]} = \frac{\text{生物产量}}{\text{植株全氮量}} \quad (1)$$

$$\text{以籽粒产量为基础的氮素生理效率} = \frac{\text{籽粒产量}}{\text{植株全氮量}} \quad (2)$$

$$\text{收获指数} = \frac{\text{籽粒产量}}{\text{生物产量}} \quad (3)$$

$$\text{氮收获指数} = \frac{\text{籽粒全氮量}}{\text{植株全氮量}} \quad (4)$$

^{15}N 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和氮素的损失量及其比例。计算公式如下:

$$\text{氮素转运比例} = \frac{\text{生殖器官}^{15}\text{N} \text{ 累积量} \times (\text{生殖器官}^{15}\text{N} \text{ 累积量} - \text{标记结束时生殖器官中的}^{15}\text{N} \text{ 量})}{\text{标记结束时植株}^{15}\text{N} \text{ 累积量}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{氮素转运量} = \text{氮素转运比例} \times \text{标记结束时植株氮素累积量} \quad (6)$$

$$\text{氮素损失比例} = \frac{(\text{标记结束时植株}^{15}\text{N} \text{ 累积量} - \text{收获期植株}^{15}\text{N} \text{ 累积量})}{\text{标记结束时植株}^{15}\text{N} \text{ 累积量}} \times 100\% \quad (7)$$

$$\text{氮素损失量} = \text{氮素损失比例} \times \text{标记结束时植株氮素累积量} \quad (8)$$

所有数据采用 SPSS 统计软件进行 t 检验。

2 结果与分析

2.1 不同品种油菜的生物量及氮素吸收量

由表 1 可知,常氮水平下,品种“742”与“814”的各生理指标差异明显。低氮条件下,两品种只有生物量、植株全氮、收获指数差异显著或极显著。常氮条件下,氮高效品种“742”的植株、籽粒含氮量以及植株全氮含量均比“814”低,生物产量、籽粒产量、籽粒全氮、收获指数及氮收获指数均比“814”高。低氮水平下,品种“742”的生物产量、籽粒产量、植株全氮、籽粒全氮均低于“814”,其中生物产量与植株全氮含量差异显著,同“814”相比分别降低 28.9% 和 21.6%,但植株含氮量、籽粒含氮量、收获指数及氮素收获指数高于“814”,收获指数及氮素收获指数分别高 26.3% 和 27.7%。可见,氮素充足时品种“742”比“814”单位氮素产生的经济产物高。低氮水平下,品种“742”自身的氮素代谢、氮素积累比重上仍占有绝对优势,籽粒产量及生物量存在劣势。

2.2 油菜收获期营养器官氮素减少量

不同氮素水平下 2 个品种油菜营养器官的氮素减少量及其比例变化情况如表 2 所示。常氮水平下,品种“742”单株根、茎中的氮素减少量分别为 63.9 mg 和 102.7 mg,均高于品种“814”,其中茎的氮素减少量达到差异显著水平,叶片中氮素的减少量差异不显著;品种“814”单株茎中氮素减少量表现为负增长,说明生长后期品种“814”中氮素部分再分配到茎中,用于营养器官茎的生长。低氮水平下,品种“742”单株根、茎中氮素减少量高于品种“814”,并达到差异显著水平,叶中氮素的减少量未达到差异显著水平。可见,不论施氮水平如何,品种“742”大多数营养器官的氮素减少量均高于品种“814”,而且茎中氮素再利用差异最为明显。

表 1 不同供氮处理下供试油菜品种的生理指标

Table 1 Physiological parameters of tested oilseed rape cultivars under different N levels

指标 Parameter	常氮处理 Usual N level			低氮处理 Low N level		
	742	814	平均 Average	742	814	平均 Average
生物产量 Biomass (g·plant ⁻¹)	86.30±2.000*	84.10±2.200	85.20±2.100	52.90±2.800	74.40±3.500*	63.70±3.200
籽粒产量 Grain yield (g·plant ⁻¹)	20.10±0.700**	13.50±0.500	16.80±0.600	12.50±0.600	13.40±0.400	13.00±0.500
植株含氮量 N concentration of plant [mg·g ⁻¹ (DW)]	17.33±0.580	19.00±0.400	18.17±0.490	14.61±0.470	13.54±0.810	14.08±0.640
籽粒含氮量 N concentration of grain [mg·g ⁻¹ (DW)]	37.30±0.600	43.00±1.600*	40.20±1.100	37.10±2.700	34.40±1.300	35.80±2.000
植株全氮 Total N in plant (g·plant ⁻¹)	1.44±0.090	1.58±0.050**	1.51±0.070	0.76±0.060	0.97±0.050**	0.87±0.060
籽粒全氮 Total N in grain (g·plant ⁻¹)	0.78±0.030*	0.59±0.150	0.69±0.090	0.48±0.010	0.51±0.030	0.50±0.020
收获指数 Harvesting index	0.23±0.010*	0.14±0.012	0.19±0.009	0.24±0.025	0.19±0.006*	0.22±0.016
氮收获指数 N harvesting index	0.54±0.010**	0.37±0.010	0.46±0.010	0.60±0.010	0.47±0.040	0.54±0.030

*和**分别表示两个品种间的差异达到显著($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$),下同。* and ** indicate significant difference between two varieties at 0.05 and 0.01 levels by t-test. The same below.

由油菜各器官氮素减少比例可见,不同氮素水平下除常氮处理茎中氮素减少比例有显著差异外,两品种各器官中氮素减少比例差异不显著。表现为常氮水平下,品种“742”根、叶中氮素减少比例均低于品种“814”,而茎中氮素减少量远远大于品种“814”;低氮水平下,品种“742”根、茎、叶中氮素减少比例均大于品种“814”。可见,品种“742”比品种“814”具有较好的氮素调节机制,即氮素充足时,品种“742”表现出较高的氮素吸收能力,并维持各器官氮素比例在较高水平,这样可有效减缓衰老、延长籽粒含氮物质的积累代谢过程;氮素不充足时品种“742”各器官具有较高的氮素转运优势,将自身器官中氮素维持在最低水平,把大量的氮素转运向生殖器官。

此外,两品种油菜在常氮水平下根、茎的减少量均低于低氮水平,叶片的减少量与之相反,在各器官减少比例中,叶片减少比例最高,茎次之,根最小。说明氮素供应不足时,叶片可通过减少氮素转出量来保证植株光合作用等的正常进行。同时,根、茎中的氮素成为植株氮素转运的次主要库源。低氮处理时油菜体内氮素转运生理活动比常氮水平下活跃,因此可作为氮素转运机理研究的较处理好处理,

为选育氮素高效品种提供有力帮助。

2.3 油菜营养生长期吸收的氮素向生殖器官的再分配量

由于作物吸收的氮素分布在不同营养器官中,随着生殖生长的进行,贮存在营养器官中的氮素不断地被活化、转运、再分配到生殖器官中。根据¹⁵N示踪计算结果可知(表3),不同效率油菜中氮素向角果皮、籽粒的转运量及其比例存在很大差别。常氮处理时,品种“742”单株角果皮中氮转运量比“814”低26.9%,籽粒中氮转运量为507.6 mg,比“814”高48%,达到差异显著水平,品种“742”单株籽粒、角果皮中氮素的总转入比例超过总转运量的50%,而品种“814”则少于50%。低氮水平下,品种“742”单株角果皮、籽粒氮素转入比例均超过总转运量的60%,而品种“814”籽粒中氮素转入比例仅为49.3%;两品种角果皮再分配氮量差异显著,籽粒中氮素再分配量达到极显著水平,说明品种“742”氮素再分配能力强于品种“814”。至角果发育后期,品种“742”籽粒中氮素以转运为主,而品种“814”以根系吸收为主。此外,由于品种“742”氮素转运的能力显著优于品种“814”,可知“742”比品种“814”对前期氮素的积累量更敏感。

表 2 不同氮处理下油菜收获期各器官氮素减少量及比例

Table 2 N decreased amount of the organs and its proportion at oilseed rape harvest stage under different N levels

营养器官 Vegetable organ	常氮处理 Usual N level			低氮处理 Low N level		
	742	814	平均 Average	742	814	平均 Average
氮素减少量 N decreased amount (mg·plant ⁻¹)						
根 Root	63.9	59.9	55.9	94.3*	40.0	67.2
茎 Stem	102.7*	-64.2	19.3	148.5*	66.1	107.3
叶 Leaf	296.4	332.6	314.5	245.3	245.4	245.4
合计 Sum	463.0	328.3	389.7	488.1	351.5	419.9
氮素减少比例 N decreased proportion (%)						
根 Root	29.3	36.2	32.7	57.6	54.4	56.0
茎 Stem	38.4*	-31.3	3.5	66.2	54.5	60.3
叶 Leaf	64.1	65.0	64.6	75.7	74.9	75.3

表 3 不同氮处理下油菜吸收氮素向生殖器官的转运量及比例

Table 3 Transferring amount and proportion of nitrogen absorbed by oilseed rape to reproductive organs under different N levels

器官 Organ	常氮处理 Usual N level			低氮处理 Low N level		
	742	814	平均值 Average	742	814	平均值 Average
单株氮素转运量 Amount of transferred N per plant (mg)						
角果皮 Husk of silique	119.2	163.0	141.1	70.4*	133.8	102.1
籽粒 Grain	507.6*	263.9	385.8	330.6**	234.0	282.3
合计 Sum	626.8	426.9	526.9	401.0	367.8	384.4
转入氮占器官总氮比例 Proportion of transferred N (%)						
角果皮 Husk of silique	50.2	45.3	47.8	62.3	64.3	63.3
籽粒 Grain	60.8	46.3	53.5	71.9*	49.3	60.6

由表 3 还可知, 常氮水平下, 相同品种油菜氮素向生殖器官转运量高于低氮水平, 而角果皮、籽粒中氮素转运比例均低于低氮水平。说明氮素充足时, 氮素的根系吸收可缓解氮素转运压力, 满足籽粒生长的需要; 当供氮水平降低时, 根系吸收不能满足生殖生长的需求, 从而加大营养器官的氮素转运量, 但因籽粒产量低, 基数小, 低氮水平籽粒再分配氮所占比例高于常氮水平。

2.4 油菜生长后期植株氮素损失量

由 ^{15}N 示踪试验结果可知(表 4), 常氮水平下, 品种“742”损失量及比例均小于品种“814”; 低氮水平反之, 且差异达到显著水平。但不同氮素水平下, 品种“742”氮素损失量及比例差异不大, 品种“814”随氮素水平的变化其损失量及比例变化差异明显。说明品种“742”具有较好的氮素再利用能力, 即氮素充足时品种“742”可以充分再利用氮素, 促进生殖生长; 氮素供应不足时, 品种“742”加快氮素转运, 促进器官衰老, 减少氮素的有效损失时间。综上可知, 氮素损失可能与油菜自身的生理和代谢等因素有关, 其中地上部分氮素的挥发损失和根系的分泌作用^[13]可能是其主要归宿。

3 讨论与结论

3.1 不同品种油菜生长后期氮素再分配及其与氮素利用效率的关系

随着植物生长, 植株体内氮素处于吸收、转运、再利用的动态中。尤其是在进入生殖生长期, 根、茎、叶等营养器官的氮素比例趋于下降, 表明氮素再分配的速度加快, 尽管在生长全过程中植株氮素不可避免地通过吐水作用、露水淋洗以及氨挥发等途径而损失^[13-16], 但营养器官减少的氮素主要再分配到生殖器官^[5-6], 因此植株营养器官氮素的减少量及其比例可以间接说明氮素的再分配情况, 即营养器官氮素减少量和比例越大, 对籽粒的氮素积累贡献越大, 反之亦然。许多禾谷类作物的研究结果表明, 叶片、茎和生殖器官中的氮素向籽粒的再分配效率大于 60%^[4,6], 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。目前, 油菜各器官氮素含量变化和氮素积累量消长等方面国内

外已有大量研究, 而关于不同氮素水平氮素再分配的品种间差异及其对角果氮素积累的影响方面的研究报道较少。本试验通过 ^{15}N 示踪方法对此进行了较系统的研究。

试验发现, 两个供试油菜在常氮水平下, 收获期根、茎、叶等营养器官中氮素分配比例均下降, 而生殖器官中氮素比例增加, 增加的氮素更多地分配到籽粒中, 而非角果皮中, 这无疑有利于提高氮素利用效率。常氮水平下, 品种“742”籽粒中 60.8% 氮素由营养器官再分配得来, 品种“814”中仅为 46.3%; 低氮水平下, 品种“742”由营养器官转运来的氮素占 71.9%, 品种“814”中占 49.3%。另外, 植株总氮中籽粒氮素所占的比例在常氮和低氮条件下, 品种“742”分别比品种“814”高 22.8% 和 14.8%, 角果皮氮素所占的比例在常氮和低氮条件下分别比“814”低 8.7% 和 13.9%。由此可以得出, 品种“742”的高氮素利用效率与其生长后期氮素分配量多、植株全氮中籽粒氮素所占的比例高密切相关。

试验还表明, 不同油菜营养器官的氮素转运存在差异, 籽粒中氮素再分配效率受氮素水平影响也较大。当氮素充足时, 根系对氮素的吸收量多可缓解氮素转运压力, 满足籽粒生长的需要; 当氮素供应不足时, 根系对氮素的吸收量少, 远远不能满足其籽粒生长的需求, 因而油菜营养器官氮素转运量增加, 而品种“742”的氮素利用高效性就表现为营养器官的氮素再分配能力强。

3.2 不同品种油菜生长后期氮素损失及其与氮素利用效率的关系

有研究表明, 水稻植株体氮素损失率在 3.76%~28.6% 之间。在不同光照和温度处理条件下水稻植株体氮素损失一般在 8%~20% 之间。其中水稻植株体氮素损失率与根干重相关, 与根、叶以及整个植株体内含氮量、氮累积量、吸氮量及氮肥施用量呈显著正相关^[17], 可见不同氮素水平的氮素损失量不尽相同。本试验得到类似结果, 即常氮水平两品种单株氮素损失量(平均为 230.1 mg)及其比例(均值为 26.7%)均大于低氮水平(131.5 mg 和 20.6%)。但本试验还发现氮素损失可能与油菜自身的生理、代谢等因素有关, 即充足氮素有利于油菜营养器官的生长,

表 4 不同氮处理下油菜吸收的氮素到收获期时的损失比例及损失量

Table 4 Harvest stage loss amount and proportion of oilseed rape N absorbed during the early stages under different N levels

项目 Item	常氮处理 Usual N level			低氮处理 Low N level		
	742	814	平均 Average	742	814	平均 Average
氮素损失比例 Loss proportion of N (%)	21.8	31.7	26.7	26.9*	14.4	20.6
氮素损失量 Loss amount of N (mg)	189.2	271.0	230.1	185.4*	77.5	131.5

使得生育期延长,从而延长油菜生理代谢的周期,增加氮素损失时间,但氮素利用高效品种可以充分利用氮素,进而减少氮素损失,氮素利用低效品种则相反。

常氮水平下,品种“814”氮素损失量及比例均大于品种“742”;低氮水平下品种“742”损失量及其比例均高于品种“814”,差异极显著。这说明不同效率油菜在生长后期氮素损失量与自身基因型性状有密切关系。在氮素充足时高效品种“742”可以充分再利用氮素,促进生殖生长,氮素不充分时因其氮素胁迫能力较低,从而导致叶片等营养器官早衰,过早完成生殖生长;在此过程中可能会导致大量叶片脱落,引起氮素损失相关生理代谢加快,致使氮素损失加大;而在氮素缺乏时低效品种“814”可以利用自身高效氮素胁迫能力继续吸收氮素,满足自身需要,也可快速转运营养器官的氮素,提高氮素再利用效率,加快茎、叶片等器官早衰,减少氮素损失时间,从而利于减缓氮素损失。

4 结论

供试 2 个油菜品种的生物产量、收获指数、¹⁵N 标记试验及相关指标的测定结果表明,品种“742”是氮素利用高效品种,其氮高效性在常氮水平下占绝对优势,品种“814”只在低氮水平时氮素吸收上占优势。不同氮素水平下,品种“742”叶片中氮素转运量不占优势,但品种“742”根、茎中氮素减少量均大于品种“814”,说明油菜根、茎对氮素良好的转运能力是影响品种“742”氮素转运能力强于品种“814”的关键因素,而茎对氮素的再利用能力是影响两品种氮效率最直接的因素。不同氮素水平,品种“742”籽粒中氮素分配比例和氮素转入量均比“814”高,角果皮氮素分配比例和再分配氮素量均比“814”低。说明角果皮过度积累氮素及较强的氮素转入能力是影响品种“814”氮素效率不高的原因之一。油菜生长后期氮素损失量受基因型及氮素供应水平影响较大。

本研究通过后期氮素的积累、转运和再分配比例的测算,阐明了氮高效油菜品种“742”的氮素高效利用机制,为氮高效油菜品种的选育及其在生产应用中适当供氮促进增产提供了理论依据。

参考文献

- [1] 张振华, 宋海星, 刘强, 等. 油菜生育期氮素的吸收、分配及转运特性[J]. 作物学报, 2010, 36(2): 321-326
- [2] 宋海星, 彭建伟, 刘强, 等. 不同氮素生理效率油菜生育后期氮素再分配特性研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(6): 1858-1864
- [3] Zhang Y H, Wu J, Zhang Y L, et al. Genotypic variation of nitrogen accumulation and translocation in japonica rice (*Oryzasativa L.*) cultivars with different height[J]. J Nanjing Gric Univ, 2006, 29(2): 71-74
- [4] Wang H, McCaig T N, Depauw R M, et al. Physiological characteristics of recent Canada western red spring wheat cultivars: Components of grain nitrogen yield[J]. Can J Plant Sci, 2003, 83(4): 699-707
- [5] Lon S, Chen N C, Chishaki N, et al. Behavior of nitrogen absorbed at different growth stages of rice plants[J]. Ecology and Environment, 2005, 14(4): 567-573
- [6] 宋海星, 彭建伟, 刘强, 等. 不同氮素生理效率油菜生育后期氮素再分配特性研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(6): 1858-1864
- [7] 晏娟, 沈其荣, 尹斌, 等. 应用 ¹⁵N 示踪技术研究水稻对氮肥的吸收和分配[J]. 核农学报, 2009, 23(3): 487-491
- [8] Rossato L, Le Dantec C, Laine P, et al. Nitrogen storage and remobilization in *Brassica napus L.* during the growth cycle: Identification, characterization and immunolocalization of a putative taproot storage glycoprotein[J]. J Exp Bot, 2002, 53(367): 265-275
- [9] Malagoli P, Laine P, Rossato L, et al. Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus*) from stem extension to harvest[J]. Ann Bot, 2005, 95(5): 853-861
- [10] 肖时运, 刘强, 荣湘民, 等. 不同施氮水平对苜蓿产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(6): 913-917
- [11] 陈军文, 刘强, 荣湘民, 等. 氮磷钾不同配比对饲用稻威优 198 产量及糙米蛋白含量的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 522-529
- [12] Séverine S, Nathalie M J, Christian J, et al. Dynamics of exogenous nitrogen partitioning and nitrogen remobilization from vegetative organs in pea revealed by ¹⁵N in vivo labeling throughout[J]. Plant Physiol, 2005, 137(4): 1463-1473
- [13] 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[J]. Plant Physiology, 1996, 112(1): 67-74
- [14] Schjoerring J K, Husted S, Mäck G, et al. Physiological regulation of plant-atmosphere ammonia exchange[J]. Plant and Soil, 2000, 221(1): 95-102
- [15] 吴小庆, 徐阳春, 沈其荣, 等. 不同氮肥利用效率水稻品种开花后地上部分氨挥发研究[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(4): 429-433
- [16] Lon S, Chen N C, Chishaki N, et al. Behavior of nitrogen absorbed at different growth stages of rice plants[J]. Ecology and Environment, 2005, 14(4): 567-573
- [17] 王巧兰. 氮磷钾营养对水稻植株体氮素损失的影响[D]. 湖北: 华中农业大学, 2010