DOI: 10.3724/SP.J.1006.2012.00887

不同氮吸收效率品种油菜氮素营养特性的差异

曹兰芹^{1,2} 伍晓明² 杨睿¹ 田阳阳¹ 陈鲜妮¹ 陈碧云² 李亚军¹
高亚军^{1,3,*}

¹西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; ²中国农业科学院油料作物研究所, 湖北武汉 430062; ³农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西杨凌 712100

摘要: 采用土培盆栽试验, 在不同供氮水平下对 50 份甘蓝型油菜进行氮吸收效率筛选, 并比较其不同品种的氮素营养特性。结果表明, 油菜的氮素营养特性表现出一定的品种差异, 其中根系氮累积量及其占总吸氮量的百分比变异系数最大, 超过 50%, 而生长前期植株含氮量的变异系数最小。不论氮素供应水平高低, 油菜氮高效品种的总吸氮量和各器官的氮素累积量均显著高于氮低效品种, 其中根系氮素累积量的差异最大, 而果荚氮素累积量的差异最小; 氮高效品种根系中累积的氮素比例均显著高于氮低效品种, 而果荚中累积的氮素比例均显著低于氮低效品种; 氮高效品种营养生长阶段地上部的含氮量与氮低效品种的差异不显著, 而地上部的氮素累积量显著高于氮低效品种; 营养生长阶段功能叶片的 SPAD 值也显著高于氮低效品种。随着供氮水平的改变, 氮高效品种各器官的含氮量、氮素累积量和氮素分配比例的变化幅度均显著高于氮低效品种。不同品种油菜氮素营养指标的显著差异为通过遗传改良途径培育作物新品种和提高作物氮肥利用效率提供了基础。

关键词: 油菜(*Brassica napus* L.); 氮吸收效率; 品种; 含氮量; 氮素累积量; SPAD

Differences of Nitrogen Status between Different N-Uptake-Efficiency Rape-seed (*Brassica napus* L.) Cultivars

CAO Lan-Qin^{1,2}, WU Xiao-Ming², YANG Rui¹, TIAN Yang-Yang¹, CHEN Xian-Ni¹, CHEN Bi-Yun², LI Ya-Jun¹, and GAO Ya-Jun^{1,3,*}

¹College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; ²Institute of Oil Crop Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China; ³Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China

Abstract: A pot experiment was conducted to test nitrogen (N) uptake efficiency (NUE) of 50 rapeseed cultivars at two N application levels. The differences of N status indexes between high-nitrogen-efficiency-genotype (HNEG) and low-nitrogen-efficiency-genotype (LNEG) were analyzed. The results showed that N status varied dramatically among different genotypes. The greatest variance was found on N accumulation in root and ratio of N accumulation in root to total N uptake (>50%) while the least variance was found on N content of aboveground part of rapeseed during vegetative stage. At both N application levels, HNEG had significantly greater total N uptake and N accumulation in different parts of plant than LNEG. The maximum difference of N accumulation was found in root between HNEG and LNEG while the minimum difference of N accumulation was found in silique husk. The ratio of N accumulation in root to total N uptake for HNEG was higher than that for LNEG. The ratio of N accumulation in silique to total N uptake was higher for LNEG than for HNEG. During vegetative stage, no significant difference of N content of aboveground parts was found between HNEG and LNEG. However, HNEG had remarkable higher N accumulation in aboveground parts and higher SPAD value of leaves than LNEG. Changes of N supply level led to the greater changes of N content, N accumulation and the ratio of N accumulation in any part to total N uptake for HNEG than those for LNEG. Significant differences of nitrogen status between different rapeseed cultivars provide a basis to create new crop varieties for increase nitrogen use efficiency.

Keywords: Rape seed; Nitrogen uptake efficiency; Cultivars; N content; N accumulation; SPAD

本研究由教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目(NCET-08-0465), 西北农林科技大学“创新团队建设计划”(2010-1)和西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”(2007)项目资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 高亚军, E-mail: yajungao@nwsuaf.edu.cn

第一作者联系方式: E-mail: lanqincao@yahoo.com.cn

Received(收稿日期): 2011-09-06; Accepted(接受日期): 2012-01-19; Published online(网络出版日期): 2012-03-05.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20120305.1039.012.html>

目前油菜生产中氮肥施用量较高^[1-2],但利用率较低^[3]。通过新品种选育来提高油菜的氮肥利用率是一条新的途径,而氮高效品种油菜的筛选及不同氮效率品种的差异研究是基础。华中农业大学利用大规模苗期试验筛选油菜氮高效种质,并利用水培试验对氮高效和氮低效种质的差异做了分析^[4]。湖南农业大学重点研究目前一些推广品种氮效率差异的生理机制^[5-8]。刘代平等^[9]研究表明,油菜氮高效品种叶绿素含量、可溶性糖含量及总量较高,硝酸还原酶活性较强,硝酸盐含量低于低效品种。宋海星等^[10]报道,施氮条件下,氮高效品种具有较多的一级侧根数,较长的根长,较高的最大吸收速率,根系活力影响较小。另有研究表明,油菜氮高效品种向籽粒再分配的氮素量及其比例大,植株体氮素损失量及其比例小^[4,11]。总之,油菜氮效率研究大多关注氮素利用效率,对氮吸收效率的品种差异研究少见报道。然而,在某些情况下氮吸收效率对氮效率的贡献可能更大^[12-13]。本试验前期研究^[16]已经通过对50个甘蓝型油菜品种氮吸收效率的评价筛选出氮素供应充足和低氮胁迫条件下的氮高效品种和氮低效品种。本文在对50个甘蓝型油菜氮吸收效率筛选的基础上,重点比较了不同氮吸收效率品种的氮素营养特性的差异;由于SPAD值高低反映作物叶片的叶绿素含量^[14],与作物叶片含氮量具有显著线性相关^[15],因此,对不同品种的SPAD值差异也做了分析。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

红油土含有机质 7.48 g kg^{-1} 、全氮 0.72 g kg^{-1} 、碱解氮 21.4 mg kg^{-1} 、全磷 0.50 g kg^{-1} 、速效磷 7.6 mg kg^{-1} 、全钾 19.5 g kg^{-1} 、速效钾 73.1 mg kg^{-1} , pH 7.7。

1.2 试验设计

试验包括施氮量和油菜品种2个因素。设低氮(0.1 g N kg^{-1} 土)和高氮(0.3 g N kg^{-1} 土)2个施氮水平,与土混匀后一次性施入;50个甘蓝型油菜品种,编号1~50,名称与来源见曹兰芹等^[16],种子由中国农业科学院油料作物研究所提供,试验采用完全随机区组排列,重复3次,共100个处理。

于2007—2008年在西北农林科技大学农作一站玻璃温室中进行盆栽试验,每盆装风干土9 kg。2007年11月1日播种,11月15日定苗,每盆定植8株,抽薹期后每盆只留1株。以P肥(P_2O_5 0.2 g kg^{-1}

土)、K肥(K_2O 0.3 g kg^{-1} 土)作为底肥,苗期随水施入B肥(1.0 mg B kg^{-1} 土),抽薹期和花期喷施Fe肥和Zn肥。采用重量法灌水,保持土壤含水量为60%~75%的田间持水量。

1.3 测定项目和方法

在开花以前分3次(五叶期:12月29日;现蕾期:2月29日;抽薹期:3月14日)采集地上部样品,称鲜重和干重,并测定其含氮量;成熟期分器官测定籽粒、果荚(即果壳、角果皮,下同)、茎叶和根系部分的鲜重、干重及其氮含量。植株全氮采用 H_2SO_4 - H_2O_2 消煮-奈氏比色法测定^[17]。氮素累积量=干物质质量×含氮量,氮素吸收效率=植株总吸氮量/施氮量。

用SPAD-502型叶绿素计(Konica,日本)测定SPAD值。选择各植株中部完全展开的功能叶,测定叶片中部,部位保持一致并避开叶脉,每个品种每个重复测定6次,取其平均值。测定时间为天气状况相近的晴朗午后,分别于五叶期、现蕾期、抽薹期测定。

1.4 统计分析

用SAS 8.0软件统计分析试验数据。

2 结果与分析

2.1 氮素吸收高效型和低效型油菜的筛选

不论供氮水平高低,氮素吸收效率均表现出一定的品种变异(图1)。同一品种油菜在高氮条件下的氮素吸收效率均低于低氮条件下的氮素吸收效率。

多重比较结果表明,氮素供应水平较高时(高氮处理),26、44、25、27、12、13、23、42、17和37号等10个品种氮素吸收效率最高,平均达到0.55(0.48~0.70),而33、47、3、11、8、40、18、41、7和4等10个品种的氮素吸收效率最低,平均为0.24(0.18~0.28)。10个氮吸收效率最高品种的平均值是10个氮吸收效率最低品种平均值的2.3倍,其差异达到极显著水平(1%)。氮吸收效率最大相差4.0倍,变异系数为28%(表1)。

氮素供应水平较低时(低氮处理),27、26、23、12、44、13、35、16、34和38号等10个品种氮素吸收效率最高,平均达到1.11(1.03~1.19),而3、6、8、47、40、7、11、18、41和4号等10个品种的氮素吸收效率最低,平均为0.69(0.25~0.83)。10个氮吸收效率最高品种的平均值是10个氮吸收效率最低品种平均值的1.7倍,其差异达到极显著水平(1%)。氮吸收效率最大相差2.6倍,变异系数为16%

(表 1)。

在氮吸收效率排名前 10 的品种中, 26、44、27、12、13 和 23 号品种在不同氮素供应水平下都表现为较高的氮素吸收效率; 氮吸收效率排名后 10 的品种中, 4、7、41、18、40、8、11、3 和 47 号品种在不同氮素供应水平下都表现为较低的氮素吸收效率。

根据氮素吸收效率的排名, 将排名前 10 位和后 10 位的品种分别作为氮吸收高效和氮吸收低效的初选材料, 后文中分别用 10 个品种的平均值代表氮吸收高效品种和氮吸收低效品种的指标。

图 1 不同供氮水平下 50 个品种油菜的氮素吸收效率
Fig. 1 N-uptake-efficiency of 50 rapeseed cultivars at different N levels

表 1 不同品种油菜氮素吸收效率的差异
Table 1 Differences of N-uptake-efficiency among 50 rapeseed cultivars

供氮水平 N level	品种 Cultivar	品种数 No. of cultivars	氮素吸收效率 N-uptake-efficiency	标准差 Standard deviation	变异系数 CV (%)
高氮处理 High N	全部品种 All cultivars	50	0.43	0.12	28
	氮高效品种 High efficiency cultivars	10	0.55	0.07	13
	氮低效品种 Low efficiency cultivars	10	0.24	0.04	17
低氮处理 Low N	全部品种 All cultivars	50	0.89	0.14	16
	氮高效品种 High efficiency cultivars	10	1.11	0.05	5
	氮低效品种 Low efficiency cultivars	10	0.69	0.17	25

2.2 不同供氮条件下油菜氮素营养特性的品种差异

由表 2 可以看出, 无论是高氮处理还是低氮处理, 油菜的氮素营养性状和 SPAD 值均表现出一定的品种差异, 且各指标的差异幅度较大: 根系氮累积量及其占总吸氮量的百分比变异系数最大, 均超过 50%, 而生长前期植株含氮量的变异系数最小, 大部分不超过 10%。

氮素累积量的差异程度普遍高于含氮量的差异程度。在各器官含氮量指标中, 茎叶的差异最大, 根系次之, 籽粒的差异最小; 在各器官氮累积量及其占总吸氮量比例指标中, 根系的差异均最大, 这与其生物量差异很大有关^[16], 籽粒的差异仍然最小; 不同生育阶段的含氮量和氮素累积量的变异系数随着生育阶段发展有降低的趋势; 而不同生育阶段

SPAD的变异系数则随着生育阶段发展有增大的趋势(表 2)。

高氮处理成熟期各器官含氮量有低于低氮处理的趋势, 而不同生育阶段 SPAD 值的变异系数则有相反的趋势: 高氮处理高于低氮处理(表 2)。

2.3 不同氮吸收效率油菜成熟期氮营养特性的差异

在氮素供应水平较高的情况下, 氮高效品种地上部各器官含氮量均略高于氮低效品种, 根系含氮量则为前者略低于后者; 在氮素供应水平较低的情况下, 趋势则相反: 氮高效品种地上部各器官含氮量均低于氮低效品种, 其中茎叶和果荚含氮量的差异达到显著水平(5%), 根系含氮量则为前者略高于后者(图 2)。

与高氮处理相比, 低氮处理氮高效品种含氮量

表 2 不同供氮条件下氮素指标和 SPAD 的品种差异
Table 2 Difference of N indexes and SPAD value among 50 rapeseed cultivars at different N levels

指标 Index	高氮处理 High N level			低氮处理 Low N level		
	变幅	平均值	变异系数	变幅	平均值	变异系数
	Range	Average	CV (%)	Range	Average	CV (%)
籽粒含氮量 N content in grain (%)	3.97–5.67	4.71	7	3.50–5.29	4.33	9
果荚含氮量 N content in silique husk (%)	1.73–3.45	2.39	13	0.67–2.21	1.36	27
茎叶含氮量 N content in stem and leaf (%)	0.91–2.35	1.41	22	0.54–1.99	0.91	30
根系含氮量 N content in root (%)	0.91–1.88	1.29	19	0.70–1.95	1.19	22
籽粒氮累积量 Grain N accumulation per plant (g)	0.14–0.56	0.35	29	0.08–0.55	0.31	28
果荚氮累积量 Silique husk N accumulation per plant (g)	0.10–0.33	0.19	29	0.04–0.20	0.09	34
茎叶氮累积量 Stem and leaf N accumulation per plant (g)	0.04–0.46	0.15	59	0.04–0.16	0.07	35
根系氮累积量 Root N accumulation per plant (g)	0.01–0.17	0.04	80	0.01–0.11	0.03	80
籽粒氮占植株总吸氮量的百分比 Ratio of N in grain to N in whole plant (%)	27.00–61.50	46.90	18	30.50–73.20	60.80	15
果荚氮占植株总吸氮量的百分比 Ratio of N in silique husk to N in whole plant (%)	15.20–41.20	27.20	23	6.90–41.20	19.30	36
茎叶氮占植株总吸氮量的百分比 Ratio of N in stem and leaf to N in whole plant (%)	10.60–40.00	20.70	34	7.20–24.20	14.10	32
根系氮占植株总吸氮量的百分比 Ratio of N in root to N in whole plant (%)	2.00–13.50	5.20	53	2.00–19.80	5.80	68
五叶期地上部含氮量 Shoot N content at five leaf stage (%)	2.38–3.60	3.08	8	2.33–3.60	2.94	10
现蕾期地上部含氮量 Shoot N content at squaring stage (%)	2.37–3.24	2.76	6	2.29–3.03	2.65	7
抽薹期地上部含氮量 Shoot N content at stem elongation stage (%)	4.54–6.20	5.43	6	4.43–8.45	5.10	11
五叶期地上部吸氮量 Shoot N accumulation per plant at five leaf stage (mg)	1.42–15.05	6.49	45	0.98–13.89	7.18	47
现蕾期地上部吸氮量 Shoot N accumulation per plant at squaring stage (mg)	2.48–21.26	8.31	44	3.75–28.28	10.75	43
抽薹期地上部吸氮量 Shoot N accumulation per plant at stem elongation stage (mg)	25.69–128.62	73.83	36	31.13–132.02	87.71	27
五叶期叶片 SPAD 值 SPAD value at five leaf stage	26.60–61.80	50.10	13	38.20–59.50	49.50	11
现蕾期叶片 SPAD 值 SPAD value at squaring stage	27.40–55.60	43.30	15	28.70–53.80	43.90	12
抽薹期叶片 SPAD 值 SPAD value at stem elongation stage	29.40–62.20	42.00	15	27.30–55.20	38.80	15

除根系无明显差异外，其余各器官均显著降低，降幅达 12.3%~47.4%；而氮低效品种果荚含氮量降低 22.9%，茎叶含氮量降低 11.0%，籽粒和根系含氮量均略有下降(图 2)。这表明，相对于氮低效品种，氮高效品种含氮量对氮素反应更敏感；无论是氮高效品种还是氮低效品种，其茎叶和果荚含氮量对氮素反应更敏感。

在氮素供应水平较高时，氮高效品种单株总吸氮量为 1.04 g，是氮低效品种单株总吸氮量(0.44 g)的 2.4 倍；氮高效品种籽粒氮素累积量平均值是氮

低效品种的 2.1 倍；茎叶氮素累积量是 3.5 倍；果荚氮素累积量是 1.9 倍；根系氮素累积量是 4.7 倍(图 3)。在氮素供应水平较低的情况下，氮高效品种单株总吸氮量为 0.59 g，是氮低效品种单株总吸氮量(0.38 g)的 1.6 倍；氮高效品种籽粒氮素累积量是氮低效品种的 1.7 倍；茎叶氮素累积量是 1.5 倍；根系氮素累积量是 4.8 倍；而果荚氮素累积量则比氮低效品种降低了 20% (图 3)。不论氮素供应水平高低，油菜氮高效品种和氮低效品种的根系氮素累积量的差异最大，而果荚氮素累积量的差异最小。

图 2 成熟期不同氮吸收效率油菜各器官的含氮量

Fig. 2 N contents in different organs of different N-uptake-efficiency rapeseed cultivars at the mature stage

同一器官的图柱上不同字母表示品种之间的差异显著(5%)。

Bars superscribed by different letters for the same organ are significantly different at 5% probability level among cultivars.

与高氮处理相比,低氮处理氮高效品种各器官氮素累积量均显著降低;氮低效品种除籽粒氮素累积量无明显变化外,其他各器官氮素累积量也显著降低(图 3)。总的来说,氮素供应水平对氮高效品种氮素吸收的影响比对氮低效品种的影响更显著。而无论是氮高效品种还是氮低效品种,氮素不足时,茎叶和果英的氮素累积量均显著降低,而籽粒和根系的氮素累积量降低不明显。

在氮素供应水平较高的条件下,氮高效品种籽粒和果英氮素累积量占总吸氮量的比例均低于氮低效品种;而氮高效品种茎叶和根系氮素累积量占总吸氮量的比例分别是氮低效品种茎叶的 1.5 倍和 2.2 倍。在氮素供应水平较低的条件,氮高效品种根系氮素累积量占总吸氮量的比例是氮低效品种的 3.1 倍,而果英吸氮量所占比例则显著降低了 46.4%,籽粒和茎叶吸氮量变化不大(图 4)。不论供氮水平高

低,氮高效品种根系中累积的氮素比例均显著高于氮低效品种,而氮高效品种果英中累积的氮素比例均显著低于氮低效品种。

供氮水平降低时,无论氮高效品种还是氮低效品种,籽粒氮素累积量占总吸氮量的比例均显著提高,而果英氮素累积量占总吸氮量的比例则显著降低(图 4)。

2.4 不同氮吸收效率油菜营养生长阶段氮营养特性的差异

无论氮素供应水平高低,氮高效品种营养生长阶段地上部的含氮量与氮低效品种的差异均不显著(图 5)。与高氮处理相比,低氮处理氮高效品种地上部含氮量在五叶期和现蕾期均略有降低,在抽薹期降低显著;低氮处理氮低效品种含氮量在整个营养生长阶段也有降低趋势(图 5)。

在氮素供应水平较高时,氮高效品种的地上部

图 3 不同氮吸收效率品种各器官的氮素累积量

Fig. 3 N accumulation in different organs of different N-uptake-efficiency rapeseed cultivars

同一器官的图柱上不同字母表示品种之间的差异显著(5%)。

Bars superscribed by different letters for the same organ are significantly different at 5% probability level among cultivars.

图 4 不同氮吸收效率油菜各器官吸氮量占植株总吸氮量的比例

Fig. 4 Ratio of N accumulation in different organs to total N uptake of different N-uptake-efficiency rapeseed cultivars

图 5 营养生长阶段不同氮吸收效率油菜地上部含氮量

Fig. 5 N contents in aboveground part of different N-uptake-efficiency rapeseed cultivars during the vegetative stages

同一器官的图柱上不同字母表示品种之间的差异显著(5%)。

Bars superscribed by different letters for the same organ are significantly different at 5% probability level among cultivars.

吸氮量在五叶期、现蕾期、抽薹期和成熟期分别是氮低效品种的 1.6、1.7、2.1 和 2.3 倍(表 3), 差异有随着生育期而增大的趋势。在氮素供应水平较低的情况下, 氮高效品种的地上部吸氮量在五叶期、现蕾期、抽薹期和成熟期分别是氮低效品种的 1.6、1.7、1.7 和 1.4 倍, 差异随生育期没有显著变化。

无论氮高效品种还是氮低效品种, 供氮水平降低时油菜营养生长阶段地上部吸氮量均呈升高的趋势, 这与其较高的生物量有关^[16], 表明营养生长阶段氮素过多时不利于油菜的干物质形成和氮素累积。然而成熟期高氮处理的吸氮量却显著高于低氮处理, 这表明在油菜生长后期, 高氮处理的氮素累

积比低氮处理要快很多(表 3)。

2.5 不同氮吸收效率油菜叶片 SPAD 值的差异

在氮素供应水平较高时，氮高效品种营养生长阶段不同生育期功能叶片的 SPAD 值均显著高于氮低效品种，在五叶期氮高效品种是氮低效品种的 1.3 倍，在现蕾期是 1.4 倍，在抽薹期是 1.3 倍。在氮素供应水平较低时有相同的趋势。供氮水平对不同品种油菜营养生长阶段 SPAD 值的影响均不显著(图 6)。

由表 4 可知，不论供氮水平高低，在五叶期，SPAD 值与植株含氮量呈显著负相关；在五叶期和现蕾期，SPAD 值均与植株吸氮量呈极显著正相关，说明在五叶期和现蕾期叶片 SPAD 值可以反映植株氮素水平进而指导施肥。而在抽薹期，SPAD 值与植株含氮量和吸氮量的关系不显著，这可能是因为抽薹期部分功能叶片已经开始脱落，造成氮素损失。不论供氮水平高低，3 个时期油菜叶片 SPAD 值均与氮素吸收效率有极显著的正相关关系。

表 3 不同氮吸收效率油菜不同生育阶段地上部氮素累积量的差异
Table 3 N accumulation in shoot of different N-uptake-efficiency rapeseed cultivars at different growth stages

供氮水平 N level	品种 Cultivar	不同生育时期吸氮量 N accumulation per plant at different growth stages (mg)			
		五叶期 Five leaf stage	现蕾期 Squaring stage	抽薹期 Stem elongation stage	成熟期 Mature stage
高氮 High N	氮高效品种 High N efficiency cultivars	7.72±2.70	10.85±5.17	103.21±16.98	964.00±113.76
	氮低效品种 Low N efficiency cultivars	4.94±2.40	6.45±3.05	48.40±15.19	423.45±52.10
低氮 Low N	氮高效品种 High N efficiency cultivars	9.50±3.06	13.60±6.06	106.88 ±15.88	525.87±79.86
	氮低效品种 Low N efficiency cultivars	5.97±3.31	8.00±3.42	61.73±17.57	361.67±110.97

图 6 营养生长阶段不同氮吸收效率油菜叶片的 SPAD
Fig. 6 SPAD value of rapeseed leaves of different N-uptake-efficiency cultivars during the vegetation stages
同一器官的图柱上不同字母表示品种之间的差异显著(5%)。

Bars superscribed by different letters for the same organ are significantly different at 5% probability level among cultivars.

表 4 不同生育期 SPAD 值与植株含氮量、吸氮量和氮素吸收效率的相关性分析
Table 4 Correlation between SPAD, N content, N accumulation, and N-uptake-efficiency at different growth stages

供氮水平 N level	氮指标 N index	SPAD value		
		五叶期 Five leaf stage	现蕾期 Squaring stage	抽薹期 Stem elongation stage
高氮处理 High N	含氮量 N content	-0.2804*	-0.0178	0.2141
	吸氮量 N accumulation	0.4996**	0.4194**	0.2705
	氮素吸收效率 NUE	0.6122**	0.6456**	0.4563**
低氮处理 Low N	含氮量 N content	-0.3352*	-0.0409	0.2642
	吸氮量 N accumulation	0.4576**	0.4320**	0.3232*
	氮素吸收效率 NUE	0.4870**	0.6884**	0.3772**

*代表显著相关(P<0.05); **代表极显著相关(P<0.01).
* Significant at the 0.05 probability level; ** Significant at the 0.01 probability level.

3 讨论

本文是在不同的供氮水平下,将50份材料的氮素吸收效率排序,将排名前10位和后10位的品种分别作为氮高效和氮低效的初选材料,然后分别用10个品种的平均值代表氮高效品种和氮低效品种的指标,而不是只用排名第1和倒数第1品种的指标作为依据进行分析。这样做一方面是因为从统计分析结果看,这些品种(前10个材料或后10个材料)的氮效率差异大都没有达到极显著水平;另一方面用10个品种的平均值可以大大降低误判的几率,比如,个别材料的氮吸收效率本来不是太高或太低,但可能在试验中由于某种原因表现特别高或特别低,从而有可能被误作氮高效或氮低效材料。

本研究结果表明,在油菜的氮素指标中,营养生长阶段地上部植株含氮量的变异系数最小,而且无论氮素供应水平高低,氮高效品种营养生长阶段地上部的含氮量与氮低效品种的差异均不显著。这表明油菜生育前期植株含氮量不宜作为氮吸收效率品种筛选的指标。

无论氮素供应水平高低,氮高效品种营养生长阶段不同生育期功能叶片的SPAD值均显著高于氮低效品种,SPAD值与氮素吸收效率有极显著的正相关关系,而且,SPAD值的测定简单易行,因此,油菜生育前期叶片SPAD值可以作为氮吸收效率品种筛选的指标之一。SPAD值高低反映作物叶片的叶绿素含量^[14],叶绿素水平直接影响作物的干物质生产过程,多数研究结果认为,叶片叶绿素含量高有利于提高氮素利用效率^[9],本研究结果表明,油菜叶片叶绿素含量高也有利于提高氮素吸收效率。

无论氮高效品种还是氮低效品种,供氮水平降低时,成熟期地上部氮素累积量显著降低,但营养生长阶段氮素累积量反而呈升高的趋势。因为含氮量有降低趋势,所以氮素累积量的升高应该与干物质的增加有关^[14]。这表明,油菜生育前期较高的供氮水平不利于地上部干物质的形成和氮素的累积,但生长后期充足的氮素供应必不可少。因此,在油菜生产中,氮肥施用方法应采取“前轻后重”的用量分配原则,播前一次性施用氮肥的方式绝对不可取。

无论氮素供应水平高低,氮高效品种与氮低效品种根系含氮量均相差不大。然而,氮高效品种根系氮素累积量是氮低效品种的4.7倍(高氮处理)和4.8倍(低氮处理),在各器官氮素累积量中差异最大。相对来说,氮高效品种氮素在籽粒、果荚和茎

叶中的分配比例与氮低效品种间的差异都较小,而在根系内的分配比例,氮高效品种是氮低效品种的2.2倍(高氮处理)和3.1倍(低氮处理)。能够在根部累积大量氮素而同时维持根部氮浓度与氮低效品种相当,这可能是氮高效品种高效吸收氮素的根本所在。这一点与氮高效品种的根系发育特点密切相关^[11,18]。

作物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^[19]。本研究发现,无论是从含氮量、氮素累积量,还是从各器官氮素累积量占全株吸氮量的比例来说,油菜成熟期籽粒中的氮素显著多于其他器官。供氮水平较低时籽粒中分配的氮素比例更高,但果荚中氮素的分配比例则显著降低,这表明氮素胁迫可促进氮素从果荚向籽粒的重新分配。

4 结论

油菜的氮素营养参数具一定品种差异,生育前期植株含氮量不宜作为筛选氮吸收效率品种的指标;而生育前期叶片SPAD值可以作为筛选氮吸收效率品种的指标之一。不论氮素供应水平高低,油菜氮高效品种的总吸氮量和各器官的氮素累积量均显著高于氮低效品种,其中根系氮素累积量的差异最大,而果荚氮素累积量的差异最小;氮高效品种根系中累积的氮素比例均显著高于氮低效品种,而果荚中累积的氮素比例均显著低于氮低效品种;氮高效品种营养生长阶段地上部的含氮量与氮低效品种的差异不显著,而地上部的氮素累积量显著高于氮低效品种;营养生长阶段功能叶片的SPAD值也显著高于氮低效品种。随着供氮水平的改变,氮高效品种各器官的含氮量、氮素累积量和氮素分配比例的变化幅度均显著高于氮低效品种。

References

- [1] Schjoerring J K, Bock J G H, Gammelwind L, Jensen C R, Mogenssen V O. Nitrogen incorporation and remobilization in different shoot components of field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by rate of nitrogen application and irrigation. *Plant Soil*, 1995, 177: 255–264
- [2] Wiesler F, Behrens T, Horst W J. The role of nitrogen-efficient cultivars in sustainable agriculture. *Sci World J*, 2001, 1(suppl-2): 61–69
- [3] 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:

- 95: 853–861
- [4] Hong J(洪娟). Screening of Nitrogen Efficient Germplasm and Preliminary Study on Its Physiological Mechanism in Rapeseed. MS Dissertation of Huazhong Agricultural University, 2007 (in Chinese with English abstract)
- [5] Song H-X(宋海星), Peng J-W(彭建伟), Liu Q(刘强), Rong X-M(荣湘民), Xie G-X(谢桂先), Zhang Z-H(张振华), Guan C-Y(官春云), Li H-S(李合松), Chen S-Y(陈社员). Nitrogen redistribution characteristics of oilseed rape varieties with different nitrogen physiological efficiency during later growing period. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2008, 41(6): 1858–1864 (in Chinese with English abstract)
- [6] Liu Q(刘强), Song H-X(宋海星), Rong X-M(荣湘民), Peng J-W(彭建伟), Xie G-X(谢桂先), Zhang Z-H(张振华). Studies on oilseed yield and nitrogen efficiency in different cultivars of oilseed rape (*Brassica napus*). *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养肥料学报), 2009, 15(4): 898–903 (in Chinese with English abstract)
- [7] Chen L-R(陈历儒), Wang J-Y(王继珩), Liao C-S(廖成松), Liu Q(刘强), Rong X-M(荣湘民), Peng J-W(彭建伟), Xie G-X(谢桂先), Song H-X(宋海星). Studies on the difference of nitrate uptake by seedlings of different oilseed rape varieties. *Acta Agric Boreal-Occident Sin* (西北农业学报), 2008, 17(5): 181–185, 228 (in Chinese with English abstract)
- [8] Liu Q(刘强), Song H-X(宋海星), Rong X-M(荣湘民), Peng J-W(彭建伟), Xie G-X(谢桂先). Differences in nitrogen use efficiency among different rape varieties and their physiological basis. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2008, 14(1): 113–119 (in Chinese with English abstract)
- [9] Liu D-P(刘代平). Comparative Studies on Characteristic of Nitrogen Uptake and Utilization and Differences of Nitrogen Use Efficiency of Different Oilseed Rape Cultivar. MS Dissertation of Hunan Agricultural University, 2006 (in Chinese with English abstract)
- [10] Song H-X(宋海星), Liu Q(刘强), Rong X-M(荣湘民), Peng J-W(彭建伟), Xie G-X(谢桂先), Guan C-Y(官春云), Chen S-Y(陈社员). Studies on nitrogen efficiency differences and its reason analysis in different oilseed rape cultivars. *J Soil Water Conserv* (水土保持学报), 2007, 21(5): 159–163 (in Chinese with English abstract)
- [11] Zhang Z-H(张振华). Studies on the Relationship between the Nitrogen Distribution and the Nitrogen Physiological Efficiency in Oilseed Rape. MS Dissertation of Hunan Agriculture University, 2007 (in Chinese with English abstract)
- [12] Kamh M, Wiesler F, Ulas A, Horst W J. Root Growth and N-uptake Activity of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) Cultivars Differing in Nitrogen Efficiency. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2005, 168: 130–137
- [13] Wiesler F, Behrens T, Horst W J. Nitrogen efficiency of contrasting rape ideotypes. In: Horst W J ed. Plant nutrition-food security and sustainability of agro-ecosystems. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. pp 60–61
- [14] Ai T-C(艾天成), Zhou Z-A(周治安), Li F-M(李方敏), Li M(黎明). Rapid testing method for chlorophyll of wheat and other crops. *Gansu Agric Sci Tech* (甘肃农业科技), 2001, (4): 16–18 (in Chinese with English abstract)
- [15] Zhu Z-Y(朱哲燕), Bao Y-D(鲍一丹), Huang M(黄敏), Feng L(冯雷). Study of the relationship between the chlorophyll and the nitrogen content of oilseed rapes. *J Zhejiang Univ* (Agric & Life Sci) (浙江大学学报·农业与生命科学版), 2006, 32(2): 152–154 (in Chinese with English abstract)
- [16] Cao L-Q(曹兰芹), Wu X-M(伍晓明), Li Y-J(李亚军), Chen B-Y(陈碧云), Chen X-N(陈鲜妮), Tian Y-Y(田阳阳), Gao Y-J(高亚军). Relationships between genotypic differences of rapeseed (*Brassica napus* L.) nitrogen uptake efficiency and economic characteristics. *Chin J Oil Crop Sci* (中国油料作物学报), 2010, 32(2): 270–278 (in Chinese with English abstract)
- [17] Bao S-D(鲍士丹). The Soil and Agro-chemistry Analysis (土壤农化分析, 第3版), 3rd edn. Beijing: China Agriculture Press, 2000. pp 264–267 (in Chinese)
- [18] Jackson W A, Pan W L, Moll R H, Kamprath E J. Uptake, translocation, and reduction of nitrate. In: Neyra C A ed. Biochemical Basis of Plant Breeding. Boca Raton: CRC Press, 1986. pp 73–108
- [19] Andersson A, Johansson E, Oscarson P. Nitrogen redistribution from the roots in post-anthesis plants of spring wheat. *Plant Soil*, 2005, 269: 321–332