

施氮量与花期水分胁迫对不同氮效率油菜产量性能及氮肥利用效率的影响

邹小云^{1,2}, 刘宝林¹, 宋来强², 邹晓芬², 陈伦林², 熊洁², 李书宇², 官春云¹

(1. 湖南农业大学 油料作物研究所, 国家油料作物改良中心湖南分中心, 湖南 长沙 410128;

2. 江西省农业科学院 作物研究所, 油料作物重点实验室, 江西 南昌 330200)

摘要:为了明确花期水分胁迫下施氮对油菜产量形成、产量性能及氮肥利用效率的影响,以2个氮高效基因型(Monty和湘油15)和2个氮低效基因型(R210和Bin270)为供试材料,在不同氮水平(低氮0.05 g/kg,中氮0.2 g/kg,高氮0.4 g/kg),研究了花期水分胁迫下氮肥对不同氮效率基因型油菜产量、产量性能及氮肥利用效率的影响。结果表明,水分胁迫明显抑制了油菜的产量、产量性能和氮素吸收利用能力;就不同施氮量看,少量或过量施氮影响油菜产量及产量性能,所有供试材料的单株角果数、干物质质量、收获指数和产量在中氮(0.2 g/kg)处理效果表现最好;水分对油菜生长发育的影响大于氮素养分,氮高效基因型对水分胁迫具有一定的减缓作用;适量供氮能够减轻水分胁迫对油菜生长发育的影响,氮高效基因型较氮低效基因型对水分和氮素胁迫具有更强的适应性。

关键词:油菜;氮肥用量;水分胁迫;产量;氮效率

中图分类号:S143.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2015)02-0220-07

doi:10.7668/hbxb.2015.02.037

Effects of Nitrogen Application and Water Stress at Flowering Stage on Yield Performance Parameters and Nitrogen Use Efficiency in Rapeseed with Different Nitrogen Use Efficiency

ZOU Xiao-yun^{1,2}, LIU Bao-lin¹, SONG Lai-qiang², ZOU Xiao-fen²,

CHEN Lun-lin², XIONG Jie², LI Shu-yu², GUAN Chun-yun¹

(1. Oilseed Crops Institute, Hunan Agricultural University, National Oil Crops Improvement Center,

Changsha 410128, China; 2. Institute of Crops, Key Laboratory of Oil Crops, Jiangxi Academy of

Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract: The research related to effects of water stress on nitrogen fertilizer use efficiencies of different nitrogen use efficiency genotypes of rapeseed is few. Four different NUE rapeseed cultivars with high N use efficiency (Monty and Xiangyou 15) as well as low N use efficiency (R210 and Bin270), were used with three nitrogen applications (0.05, 0.2, 0.4 g/kg). Pot experiment was conducted in greenhouse to determine the effects of nitrogen application and water stress at flowering stage on yield performance parameters and nitrogen use efficiency of different nitrogen use efficiency genotypes of rapeseed. The results showed that the growth of rapeseed was obviously inhibited, the yield, yield performance parameters and nitrogen use efficiency were significantly decreased under the water stress. Pod number per plant, dry matter amount, nitrogen harvest index and yield of all of the rapeseed in the MN (0.2 g/kg) treatment was higher than in LN (0.05 g/kg) treatment and in HN (0.4 g/kg) treatment with the different nitrogen rate because of nitrogen nutrient deficiency or excess salt stress. The effect of water to rapeseed growth was greater than the effect of nitrogen nutrients, high nitrogen use efficiency genotype rapeseed could slow the endanger of water stress to rapeseed growth. Suitable applying nitrogen under water stress could reduce the

收稿日期: 2015-01-17

基金项目: 国家油菜产业技术体系项目(CARS-13); 国家科技支撑计划项目(2010BAD01B01); 江西省农业科学院创新基金项目(2011CJJ012)

作者简介: 邹小云(1978-), 男, 江西新余人, 副研究员, 在读博士, 主要从事作物遗传育种与栽培营养研究。邹小云、刘宝林为同等贡献作者。

通讯作者: 官春云(1938-), 男, 湖北荆州人, 教授, 院士, 主要从事作物育种与栽培技术研究。

effects of drought on growth of winter rapeseed, Monty and Xiangyou 15 with high nitrogen use efficiency was more adaptable to water and nitrogen stress than R210 and Bin270 with low nitrogen use efficiency.

Key words: Rapeseed; Nitrogen application; Water stress; Yield; Nitrogen use efficiency

水资源短缺是当今世界各国共同面临的问题。氮肥的不合理施用不仅影响了作物的产量和品质,而且也导致了生态环境恶化等问题。因此,提高水分和氮素利用效率已成为目前研究的热点。选育对水分和养分有较高利用效率的基因型品种,充分利用植物本身的营养遗传特性,合理利用资源,减少浪费与污染,已成为一种必然趋势^[1]。研究水分胁迫条件下氮素营养对作物生长的影响及其机理,对提高施肥效益和增加作物产量有重要作用^[2-3]。杨建昌等^[4]研究表明,氮素营养可以改善水分胁迫下作物植株体水分状况,增强作物的抗旱性。张岁岐等^[5]研究认为,氮素营养增强了作物对干旱的敏感性,进而影响作物在干旱条件下的生长。而梁银丽等^[6]的研究表明,在土壤水分为良好、轻度干旱、严重干旱情况下,氮营养对作物分别表现出正向调节作用、无明显作用、有负效应。

油菜是我国重要的油料作物之一,常年种植面积在 600 万 hm^2 左右,在我国油料生产中具有举足轻重的地位^[7]。油菜生育期内对水分的需求较多,水分不足严重影响其生长发育,而花期干旱直接影响油菜根系生长、角果发育最终影响产量的形成。干旱对油菜的影响因土壤养分状况、油菜长势、品种不同而有差异。而施肥作为一项重要的栽培营养技术措施,可为农作物提供生长发育必需的养分,保证其优质高产^[8-9]。研究表明,越冬期干旱胁迫下油菜的高产更加依赖于肥料的施用^[10]。有关花期干旱胁迫对油菜生长发育和产量的影响,尤其是不同施氮条件下花期水分胁迫的影响鲜见报道。为此,本研究在过去几年对 482 份不同甘蓝型油菜氮效率基因型鉴定的基础上,筛选出 2 份氮高效基因型和 2 份氮低效基因型品种,研究了花期水分胁迫条件下施氮对产量、产量性能及氮肥利用效率的影响,以期揭示不同氮效率油菜基因型对水分和氮素利用差异,为今后深入研究油菜资源抗旱性评价,筛选和培育水氮高效基因型以及油菜的抗旱施肥提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试油菜品种为 2 个氮高效品种 Monty 和湘油

15, 2 个氮低效品种 R210 和 Bin270, 由江西省农业科学院作物研究所和湖南农业大学油料研究所提供。

1.2 试验设计与实施

试验于 2013 年 10 月 - 2014 年 5 月在江西省农业科学院科研院区玻璃温室中进行。采用室内土培盆栽试验(盆钵的直径和高分别为 25, 30 cm), 每盆栽沙壤土 4 kg, 土壤中 pH 值 5.86, 有效氮 82.6 mg/kg, 速效磷 21.4 mg/kg, 速效钾 46.2 mg/kg。每盆 4 穴, 每穴直播 3 粒饱满一致的种子, 出苗后将多余的苗用剪刀剪掉。设置 3 个氮水平, 即, 低氮(LN, 0.05 g/kg)、中氮(MN, 0.2 g/kg)、高氮(HN, 0.4 g/kg), 同时设置不施氮处理用于氮素利用效率计算, 用硝酸铵折合成纯氮于播种前(基肥)、定苗后当天(苗肥)和抽薹期(苔肥)分别按 60%, 20%, 20% 分 3 次施入, 磷肥和钾肥全部做底肥施入。参照姜运生等^[11]研究方法, 在油菜初花期设置土壤含水量正常(80% ~ 85% FC(田间持水量))和水分胁迫(45% ~ 50% FC)两水平, 共 32 个处理, 重复 3 次。裂区设计, 施氮量为主处理, 水分为副处理, 品种基因型为副处理, 总共 96 盆。

1.3 测定项目及方法

各处理成熟期取所有植株装入尼龙网袋风干考种, 考查株高、有效分枝数、单株角果数、每角粒数、千粒质量和单株产量等性状, 并分成茎枝、角壳和籽粒, 分别称重, 计算收获指数并测定氮素含量。为考虑实用效果, 产量折合成 kg/hm^2 。

植株氮含量用浓硫酸混合催化剂消化, 凯氏定氮法测定含氮量。植株养分含量的测定参照文献[12]的方法。肥料的利用效率参照文献[13-16]的方法, 根据以下公式计算:

氮肥利用率(NUE, %) = (施氮区植株总吸氮量 - 不施氮区植株总吸氮量) / 施氮量 $\times 100\%$;

氮肥偏生产力(PEP, kg/kg) = 施氮区产量 / 施氮量;

氮肥农学利用率(ANUE, kg/kg) = (施氮区产量 - 不施氮区产量) / 施氮量;

氮素吸收效率(NUPE, kg/kg) = 植株地上部氮素累积量 / 施氮量;

氮收获指数(NHI, %) = 籽粒中含氮量 / 植株氮素累积量 $\times 100\%$ 。

利用 Excel 2003 与 SPSS 13.0 软件进行数据整理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量与花期水分胁迫对不同氮效率基因型油菜产量的影响

从表 1 可看出,水分胁迫普遍限制了不同施氮处理油菜的产量形成。施氮量对不同氮效率油菜籽粒产量趋势保持一致,无论在正常水分条件下还是在花期水分胁迫下均随着施氮水平的提高呈先增后减的趋势。就不同施氮量看,所有供试的油菜基因型产量均在中氮(0.2 g/kg)的处理效果表现最好,高氮(0.4 g/kg)次之,低氮(0.05 g/kg)最差。在相同氮水平下,正常水分下油菜籽粒产量均高于水分胁迫下油菜籽粒产量。无论是正常水分还是水分胁迫下,在低氮和中氮水平下,2 个氮高效油菜基因型籽粒产量均高于 2 个氮低效油菜基因型;低氮和高氮水平下氮高效基因型正常水分与水分胁迫下的籽粒产量平均增幅均明显低于氮低效基因型,但在中氮水平下的平均增幅表现出氮高效基因型 Monty (增幅为 34.66%) 和湘油 15(增幅为 52.15%) 显著高于氮低效基因型 R210(增幅为 10.75%) 和 Bin270(增幅为 22.21%)。说明花期水分胁迫显著影响了油菜籽粒产量,少量或过量施氮由于氮素养分不足和过量的盐离子胁迫显著降低了油菜籽粒产量,适量增施氮肥可提高水分胁迫条件下油菜籽粒产量,氮高效基因型较氮低效基因型对水氮的变化反应更为敏感。因此,就施氮量的效果看,水分胁迫严重影响了氮肥增产作用的发挥。进一步说明水分对油菜生长发育的影响要大于氮素养分,只有当水分充足时,氮素养分才能充分发挥其作用,而氮高效基因型对水分和氮素胁迫具有一定的减缓作用。

2.2 施氮量与花期水分胁迫对不同氮效率基因型油菜产量性能参数的影响

由表 2 可知,氮肥用量与花期水分胁迫明显影响了不同氮效率基因型油菜产量性能,无论是在水分正常还是水分胁迫条件下,4 个基因型油菜单株角果数和干物质量均随施氮量的增加呈先升后降的趋势,每角粒数均随施氮量的增加呈降低的趋势。同一基因型在相同氮水平下,单株角果数和干物质量在正常供水条件明显高于水分胁迫条件下。特别是单株角果数,无论是在水分正常还是水分胁迫下,中氮处理表现的要比低氮处理和高氮处理好,这说明单株有效角果数与施氮量关系更为密切一些。原因同前面分析油菜籽粒产量与施氮量的关系时一

样,即在水分胁迫条件下,高氮处理不但不能充分发挥高肥应有的效果,还会使局部土壤溶液盐浓度过大而造成盐害。这与翟丙年等^[17] 研究结果基本一致。不同基因型在相同氮水平下,4 个基因型油菜在水分胁迫下的单株角果数和干物质量均明显低于正常水分条件下单株角果数和干物质量,但 2 个氮高效基因型 Monty 和湘油 15 的单株角果数和干物质量降低的幅度明显低于 2 个氮低效基因型 R210 和 Bin270。说明水分胁迫影响了不同基因型油菜的产量性能,而氮高效基因型对水分胁迫的影响较氮低效基因型相对要低。

表 1 氮肥用量与花期水分胁迫对不同氮效率基因型油菜产量的影响

Tab.1 Effects of nitrogen application and water stress at flowering stage on yield of different nitrogen use efficiency types of rapeseed

氮水平 Nitrogen level	品种 Variety	产量/(kg/hm ²) Yields	
		正常水分 Water normal	水分胁迫 Water stress
低氮 LN	Monty	911.28e	713.73e
中氮 MN	Monty	2 265.46a	1 682.37a
高氮 HN	Monty	1 153.44cd	989.35c
低氮 LN	湘油 15	1 023.87d	694.61e
中氮 MN	湘油 15	2 029.68b	1 334.00b
高氮 HN	湘油 15	1 044.20d	860.30d
低氮 LN	R210	802.10f	611.77e
中氮 MN	R210	1 357.37c	1 225.67b
高氮 HN	R210	1 064.23d	856.48d
低氮 LN	Bin270	887.07e	587.98f
中氮 MN	Bin270	1 226.09c	1 003.30c
高氮 HN	Bin270	1 006.87d	675.50e

注:不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。表 2,4 同。

Note: Different letters mean significant at the 5% level. The same as Tab. 2, 4.

2.3 施氮量与不同氮效率基因型油菜产量性能参数及与产量间的相关性

进一步分析了氮肥用量与不同氮效率基因型油菜产量性能参数及与产量间的相关性(表 3)。结果表明,无论是在正常水分条件下还是水分胁迫条件下,单株籽粒重与单株角果数、干物质量和收获指数间均达显著或极显著正相关,干物质量与单株角果数达极显著正相关,收获指数与单株角果数达显著(正常水分,相关系数为 0.64)或极显著(水分胁迫,相关系数为 0.91)正相关。在水分胁迫条件下,收获指数与干物质量呈极显著正相关,相关系数为 0.90;其他性状间无论在正常水分条件还是水分胁迫下均未达显著相关。进一步说明了干物质积累、转运及作为源和库的角果等产量性能是决定油菜籽粒产量的重要指标,提高单位面积有效角果数和干物质量是增加油菜籽粒产量的关键,水分胁迫显著

抑制了油菜干物质积累,影响了光合产物向角果转移和籽粒产量的形成。从不同水分处理来看,水分胁迫处理单株角果数和收获指数与单株籽粒重的正相关性均比正常水分处理的相关性要高,这是因为

在水分胁迫条件下,生长发育受到严重的影响,造成源库流之间不协调,表现出植株矮小,花蕾数量减少,籽粒不饱满等现象。

表 2 氮肥用量与花期水分胁迫对不同氮效率基因型油菜产量性能参数的影响

Tab. 2 Effects of nitrogen application and water stress at flowering stage on yield performance parameters of different nitrogen use efficiency types of rapeseed

水分 Water	氮水平 Nitrogen level	品种 Variety	单株角果数 /(No./plant) No. of pod per plant	每角粒数 /(No./pod) Seeds per pod	千粒质量/g 1000-seed weight	干物质量/g Dry matter amount	收获指数 Harvest index
正常 Normal	低氮	Monty	65.3f	26.3a	2.78f	11.44f	0.25a
		湘油 15	62.3fg	23.7b	3.48d	12.13f	0.24b
		R210	56.6g	17.2e	2.70f	10.54f	0.24b
		Bin270	54.5g	17.7e	2.72f	10.88f	0.22c
	中氮	Monty	182.3a	20.2c	3.12e	26.82a	0.26a
		湘油 15	156.6b	22.7b	3.82b	24.14b	0.26a
		R210	131.3c	25.3a	2.88f	19.7c	0.23b
		Bin270	105.4d	15.2f	3.60c	17.05d	0.23b
	高氮	Monty	77.7f	18.1d	3.44d	14.6e	0.21c
		湘油 15	94.6e	16.7e	4.02a	15.27e	0.22c
		R210	73.7f	14.6f	3.12e	14.30e	0.23b
		Bin270	93.9e	13.1g	3.26d	14.12e	0.22c
胁迫 Stress	低氮	Monty	57.7de	20.2d	2.40e	10.73e	0.21c
		湘油 15	52.3e	22.2cd	3.18c	10.47e	0.20d
		R210	43.3e	21.5d	2.60d	8.6f	0.22bc
		Bin270	42.4e	19.7e	2.48e	9.28f	0.20d
	中氮	Monty	162.7a	15.7f	2.70d	23.88a	0.27a
		湘油 15	132.0b	25.1b	3.68a	22.33a	0.25b
		R210	102.0c	23.2c	2.78d	16.66b	0.23b
		Bin270	80.8d	17.2e	2.96c	14.53c	0.22bc
	高氮	Monty	71.7d	12.1g	2.78d	13.68d	0.24b
		湘油 15	60.4d	27.8a	3.46b	13.7cd	0.22bc
		R210	40.4e	21.7d	2.89cd	11.81e	0.21c
		Bin270	42.7e	16.2ef	3.00c	10.82e	0.20d

表 3 氮肥用量与不同氮效率基因型油菜产量性能参数的相关系数

Tab. 3 Correlation coefficient between nitrogen application and yield performance parameters of different nitrogen use efficiency types of rapeseed

水分 Water	性状 Character	单株角果数 No. of pod per plant	每角粒数 Seeds per pod	千粒质量 1000-seed weight	干物质量 Dry matter amount	收获指数 Harvest index	单株籽粒重 Seed yield per plant
正常 Normal	单株角果数	1.00	0.20	0.31	0.99**	0.64*	0.95**
	每角粒数		1.00	-0.18	0.20	0.54	0.25
	千粒质量			1.00	0.34	-0.07	0.30
	干物质量				1.00	0.53	0.97**
	收获指数					1.00	0.63*
胁迫 Stress	单株籽粒重						1.00
	单株角果数	1.00	-0.07	0.24	0.97**	0.91**	0.97**
	每角粒数		1.00	0.51	0.01	-0.17	-0.10
	千粒质量			1.00	0.39	0.17	0.25
	干物质量				1.00	0.90**	0.97**
	收获指数					1.00	0.92**
	单株籽粒重						1.00

注: **. 相关性达 0.01 极显著水平; *. 相关性达 0.05 显著水平。

Note: **. Correlation is significant at the 0.01 level; *. Correlation is significant at the 0.05 level.

2.4 施氮量与花期水分胁迫对不同氮效率基因型油菜氮肥吸收利用效率的影响

由表 4 可知,氮肥用量和花期水分胁迫明显影响了不同氮效率基因型油菜氮肥吸收利用效率,无论是在水分正常还是胁迫处理下,不同基因型油菜氮肥利用率和氮肥农学利用率均随施氮量的增加呈先升后降的趋势,氮肥偏生产力、氮素吸收效率和氮收获指数均随施氮量的增加呈降低的趋势。同一基因型在相同氮水平下,中氮(0.2 g/kg)处理下 Monty、R210 和 Bin270 这 3 个基因型油菜的氮肥利用率正常供水处理显著高于水分胁迫处理,低氮(0.05 g/kg)处理下 4 个基因型油菜的氮肥利用率正常供水处理低于水分胁迫处理,高氮(0.4 g/kg)处理下

氮高效品种氮肥利用率正常供水处理显著低于水分胁迫处理,氮低效品种氮肥利用率正常供水处理显著高于水分胁迫处理。在同一施氮水平下所有基因型油菜在水分胁迫处理下的氮肥偏生产力、氮肥农学利用率、氮素吸收效率和氮收获指数均低于正常水分处理,但 2 个氮高效基因型 Monty 和湘油 15 的氮肥偏生产力、氮肥农学利用率、氮素吸收效率明显高于 2 个氮低效基因型 R210 和 Bin270。说明水分胁迫明显影响了不同基因型油菜的氮素吸收利用能力,而氮高效基因型在水分胁迫下较氮低效基因型更有利于将氮素转运、再分配到角果中提高籽粒生产效率及氮肥利用效率。

表 4 氮肥用量与花期水分胁迫对不同氮效率基因型油菜氮肥吸收利用效率的影响

Tab.4 Effects of nitrogen application and water stress at flowering stage on N uptake and utilization efficiency of different nitrogen use efficiency types of rapeseed

水分 Water	氮水平 Nitrogen level	品种 Variety	氮肥利用率/% Nitrogen use efficiency	氮肥偏生 产力/(kg/kg) Partial factor productivity	氮肥农学利 用率/(kg/kg) Agronomic nitrogen use efficiency	氮素吸收 效率/(kg/kg) Nitrogen uptake efficiency	氮收获指数 N harvest index
正常 Normal	低氮	Monty	26.58cd	20.25b	6.18b	0.86a	59.58c
	中氮	Monty	39.94a	12.59d	8.57a	0.60b	49.20e
	高氮	Monty	25.98d	4.27f	3.59c	0.43c	46.06f
	低氮	湘油 15	25.98d	22.75a	6.25b	0.87a	61.15b
	中氮	湘油 15	38.88a	11.28d	7.40a	0.68b	46.17f
	高氮	湘油 15	28.39c	3.87f	3.28c	0.34d	40.54g
	低氮	R210	23.03e	17.82c	3.88c	0.82a	45.81f
	中氮	R210	35.30b	7.54e	4.45c	0.63b	37.24h
	高氮	R210	23.85e	3.94f	2.12d	0.44c	29.93i
	低氮	Bin270	24.03de	19.71b	2.57d	0.64b	68.91a
	中氮	Bin270	34.06b	6.81e	3.31c	0.50c	53.83d
	高氮	Bin270	24.56d	3.73f	2.09d	0.39cd	46.41f
胁迫 Stress	低氮	Monty	29.24d	15.86a	5.81ab	0.80a	53.22a
	中氮	Monty	37.87b	9.35c	6.83a	0.55b	29.59f
	高氮	Monty	33.99c	3.66f	2.99c	0.39c	37.82d
	低氮	湘油 15	30.84d	15.44a	5.66b	0.81a	49.36b
	中氮	湘油 15	39.35a	7.41d	5.92a	0.58b	31.38e
	高氮	湘油 15	28.92e	3.19f	2.72c	0.30cd	27.34g
	低氮	R210	28.17e	13.59b	3.12c	0.81a	42.89c
	中氮	R210	34.05c	6.81d	4.19b	0.54b	36.75d
	高氮	R210	22.40f	3.17f	1.43d	0.31c	27.56g
	低氮	Bin270	28.69e	13.07b	2.44c	0.60b	43.02c
	中氮	Bin270	33.99c	5.57e	3.17c	0.40c	33.12e
	高氮	Bin270	23.95f	2.50g	1.25d	0.24d	32.09e

3 讨论

氮肥是影响油菜籽粒产量的主要因子,合理施用氮肥能显著提高油菜籽粒产量,过量会制约油菜高产水平的发挥^[18]。油菜是需水较多的作物,开花期是油菜对水分反应最为敏感的临界期,该时期缺水,易造成油菜分枝短、花序少、花器脱落等,严重影

响油菜产量^[19]。研究表明,灾害胁迫下,肥料对作物产量形成有显著的影响,合理施用氮肥可以减缓水分胁迫对作物生长发育、光合作用等的危害和损失^[20];可显著提高硝酸还原酶活性及脯氨酸和可溶性蛋白质含量以及水分利用效率,改善氮代谢^[21],进而减少因干旱而造成的产量下降等损失^[22-24]。本试验表明,花期水分胁迫导致油菜籽粒产量大幅

下降,适量增施氮肥有利于提高油菜籽粒产量;在同一施氮水平下,低氮(0.05 g/kg)和高氮(0.4 g/kg)处理下不同油菜基因型正常水分与水分胁迫下的籽粒产量平均增幅均显著低于氮低效基因型,但在中氮(0.2 g/kg)处理下的平均增幅表现出氮高效基因型显著高于氮低效基因型。说明花期水分胁迫显著影响了油菜籽粒产量,合理施氮和选择不同氮效率基因型可以有效提高油菜的抗旱性,获得较高的产量和经济效益。

作物产量主要来源于干物质的积累以及干物质向籽粒的转运分配^[25-27]。油菜产量决定于库容量的大小,是由单株角果数、每角粒数和千粒质量共同决定的。研究表明,氮素供应可以显著提高根系含水率,增强其吸收和保水能力^[28]。适量施氮可以提高作物产量,在一定范围内提高氮肥水平可以增加水分向土壤深层的运移^[29]。水分胁迫下适量供氮能够减轻干旱对作物生长发育的影响,水氮高效型品种较水氮低效型品种对水分和氮素胁迫具有更强的适应性^[30]。在本研究条件下,所有基因型油菜在水分胁迫下的单株角果数、千粒质量和干物质量均低于正常水分条件,但2个氮高效基因型 Monty 和湘油 15 的单株角果数和干物质量降低的幅度明显低于2个氮低效基因型 R210 和 Bin270。进一步的相关性分析表明,无论是在正常水分条件下还是水分胁迫条件下,单株籽粒重与单株角果数、干物质量和收获指数间均达显著或极显著正相关,干物质量与单株角果数达极显著正相关,收获指数与单株角果数达显著(正常水分)或极显著(水分胁迫)正相关。说明水分胁迫显著影响了不同基因型油菜的产量性能,而氮高效基因型对水分胁迫的影响较氮低效基因型相对要低,对水分和氮素胁迫具有更强的适应性。

作物从土壤中吸收养分既受作物本身的影响又受土壤因子的制约^[31-33]。作物对土壤中氮的吸收、运输及利用因土壤水分状况而异^[34]。许多学者研究了水分胁迫条件下作物养分吸收分配规律,对提高施肥效益和增加产量具有重要作用^[35-39]。因此,研究水分胁迫下氮素营养对油菜氮营养效率的影响,对于筛选、培育耐旱耐缺氮的油菜新品种,发展节水农业,减轻施肥所引起的环境污染具有重要意义。在本研究中,同一施氮水平下所有基因型油菜在水分胁迫处理下的氮肥偏生产力、氮肥农学利用率、氮素吸收效率和氮收获指数均低于正常水分处理,但2个氮高效基因型 Monty 和湘油 15 的氮肥偏生产力、氮肥农学利用率、明显高于2个氮低效基

因型 R210 和 Bin270。说明水分胁迫明显影响了不同基因型油菜的氮素吸收利用能力,而氮高效基因型在水分胁迫下较氮低效基因型更有利于将氮素转运、再分配到角果中提高籽粒生产效率及氮肥利用效率。

参考文献:

- [1] Arnon I. Physiological principles of dry land crop production [A]//New Delhi: Oxford and IBH Publisher Co, 1975:143-145.
- [2] 薛青武,陈培元. 灌浆期土壤干旱条件下氮素营养对小麦旗叶光合作用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1989(3):86-93.
- [3] Copper P. The effect of nitrogen supply on growth, water use and yields of barley at five locations in Northern Syria [C]//Soil Water and Nutrient Research 1979~1980, Syria: The International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, 1981:1-57.
- [4] 杨建昌,王志琴,朱庆森. 不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的影响及其生理机制的研究[J]. 中国农业科学, 1996,4(4):59-67.
- [5] 张岁岐,山 仑,薛青武. 氮磷营养对小麦水分关系的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000,6(2):147-151,165.
- [6] 梁银丽,陈培元. 土壤水分和氮磷营养对冬小麦根苗生长的效应[J]. 作物学报, 1996,22(4):476-482.
- [7] 余华胜,张冬青,林宝刚,等. 不同肥料对苗期干旱胁迫油菜产量及经济性状的影响[J]. 江苏农业科学, 2012,40(8):82-83.
- [8] 邹小云,陈伦林,李书宇,等. 氮、磷、钾、硼肥施用对甘蓝型杂交油菜产量及经济效益的影响[J]. 中国农业科学, 2011,44(5):917-924.
- [9] Bao-lin LIU, Xiao-yun ZOU, Lai-qiang SONG, et al. Effects of nitrogen fertilizer reduction and application of nitrogen fertilizer as base fertilizer on rapeseed yield and nitrogen absorption[J]. Agricultural Science & Technology, 2013,14(1):116-121,126.
- [10] 王 寅,鲁剑巍,李小坤,等. 越冬期干旱胁迫对油菜施肥效果的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010,16(5):1203-1208.
- [11] 娄运生,杨玉爱,张桃林,等. 水分状况及硼素营养对油菜苗期根系生长及硼营养效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001,7(1):71-77.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [13] 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008,45(5):915-924.
- [14] 战秀梅,李亭亭,韩晓日,等. 不同施肥方式对春玉米

- 产量、效益及氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 861–868.
- [15] Cassman K G, Peng S, Olk D C, *et al.* Opportunities for increased nitrogen use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems[J]. Field Crops Res, 1998, 56: 27–39.
- [16] Peng S B, Buresh R J, Huang J L, *et al.* Strategies for overcoming low agronomic Nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China[J]. Field Crops Research, 2006, 96(1): 37–47.
- [17] 翟丙年, 李生秀, 齐亚婷. 不同水分状况下追施氮肥对冬小麦产量及其构成因素的影响[J]. 西北植物学报, 2001, 21(3): 462–467.
- [18] 李银水, 鲁剑巍, 邹 娟, 等. 湖北省油菜氮肥效应及推荐用量研究[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(2): 218–223.
- [19] 官春云. 优质油菜生理生态和现代栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 38.
- [20] 郑爱泉, 侯 煜, 李 琪, 等. 水分胁迫下氮素对作物生长及代谢的影响[J]. 陕西农业科学, 2008, 54(1): 75–77.
- [21] 张立新, 李生秀. 水分胁迫下氮、钾对不同基因型夏玉米氮代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 554–560.
- [22] 高亚军, 李生秀, 田霄鸿, 等. 不同供肥条件下水分分配对旱地玉米产量的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(3): 415–422.
- [23] 翟丙年, 李生秀. 不同水分状况下施氮对夏玉米水分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 473–480.
- [24] 张国盛, 张仁陟, 黄高宝, 等. 水分亏缺时氮磷营养对春小麦幼苗抗逆性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(6): 584–587.
- [25] 张 宾, 赵 明, 董志强, 等. 作物产量“三合结构”定量表达及高产分析[J]. 作物学报, 2007, 33(10): 1674–1681.
- [26] 付雪丽, 张 惠, 贾继增, 等. 冬小麦–夏玉米“双晚”种植模式的产量形成及资源效率研究[J]. 作物学报, 2009, 35(9): 1708–1714.
- [27] Maddonni G, Chelle M, Drouet J L, *et al.* Light interception of contrasting azimuth canopies under square and rectangular plant spatial distributions: simulations and crop measurements[J]. Field Crops Research, 2001, 70(1): 1–13.
- [28] Passioura J B. Roots and drought resistance[J]. Agricultural Water Management, 1983, 7(1/3): 265–280.
- [29] 王西娜, 王朝辉, 李生秀. 施氮量对夏季玉米产量及土壤水氮动态的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 197–204.
- [30] 张 艳, 张 洋, 陈 冲, 等. 水分胁迫条件下施氮对不同水氮效率基因型冬小麦苗期生长发育的影响[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(5): 844–848.
- [31] 王小彬, 高绪科. 土壤水分胁迫与施肥效果[J]. 土壤肥料, 1988(4): 22–26.
- [32] Reyniers F N, T rong-Binh, Jaquinot L. Breeding for drought resistance in dryland rice[C]//Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice. International Rice Research Institute, 1982: 273–292.
- [33] 陈建军, 任永浩, 陈培元, 等. 干旱条件下氮营养对小麦不同抗旱品种生长的影响[J]. 作物学报, 1996, 22(4): 483–489.
- [34] Marschner H. Mineral nutrition of higher plant[M]. New York: Academic Press, 1995.
- [35] 品军杰, 姚宇卿, 王育红. 不同供水情况对旱稻生长发育的影响[J]. 河南农业科学, 2002(11): 10–11.
- [36] 程永钢, 樊敬前, 邵林生, 等. 水分胁迫对甜玉米产量的影响[J]. 山西农业科学, 2008, 36(12): 23–24.
- [37] 王建英, 南建福. 苗期水分胁迫和施肥对棉花生长发育的影响[J]. 山西农业科学, 2008, 36(2): 49–51.
- [38] 许旭旦. 旱作农业中的合理施肥及其生理学基础[J]. 干旱地区农业研究, 1985(2): 56–71.
- [39] 薛青武, 陈培元. 土壤干旱条件下氮素营养对小麦水分状况和光合作用的影响[J]. 植物生理学报, 1990, 16(1): 49–56.