

油菜光合碳氮代谢特征及其与氮效率的关系

余佳玲¹, 张 力², 张振华¹, 舒佳宾³, 宋海星¹, 官春云⁴

(1. 湖南农业大学 资源环境学院, 植物营养湖南省普通高等学校重点实验室, 湖南 长沙 410128; 2. 黑龙江省农业科学院, 黑龙江 哈尔滨 150000; 3. 衢州市农业科学研究院, 浙江 衢州 324000; 4. 国家油料改良中心 湖南分中心, 湖南 长沙 410128)

摘要:为阐明油菜碳氮代谢与氮效率的关系, 及其对油菜品质的影响。采用土培试验, 以低产甘蓝型油菜品种沪油 15(品种 A)与高产甘蓝型油菜品种 742(品种 B)为试验材料, 在常氮与氮胁迫 2 种供氮情况下, 研究了不同品种油菜不同供氮水平下光合参数、可溶性糖、游离氨基酸与硝酸盐含量差异, 氮效率与收获指数以及与籽粒脂肪酸组成的变化及差异。结果表明, 无论哪种供氮水平, 品种 B 苗期光合参数大于品种 A, 盛花期规律相反, 两品种的 P_n 、 G_s 、 C_i 与 T_r 皆在盛花期有所升高, 而 WUE 有所降低。盛花期与角果发育期品种 B 茎、叶中可溶性糖含量高于品种 A, 油菜茎叶中可溶性糖含量从角果发育期呈减少趋势, 角果发育期与收获期较抽薹期减少 53%~80%, 两品种 5 个时期茎叶皆表现为常氮时可溶性糖含量小于氮胁迫; 品种 B 游离氨基酸除在 2 种供氮水平下盛花期叶、角果发育期地上部分与氮胁迫时抽薹期叶中大于品种 A, 其余时期呈现相反规律, 到达角果发育期, 两品种营养器官中游离氨基酸较生育前期大幅度减少; 品种 B 5 个时期硝酸盐含量、氮效率、收获指数、品质皆高于品种 A。碳氮代谢与氮效率关系密切, 油菜后期碳氮代谢大幅度减弱, 碳氮代谢强的品种氮效率高, 有利于氮素积累, 籽粒品质较好, 品种 B 碳氮代谢及其各项指标优于品种 A, 品种优势明显。

关键词:油菜; 碳氮代谢; 氮效率; 游离氨基酸

中图分类号: S634.3; S143.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2015)01-0219-06

doi: 10.7668/hbxb.2015.01.037

The Relationship of Carbon-nitrogen Metabolism Between Nitrogen Efficiency and Its Characteristics of Rape

YU Jia-ling¹, ZHANG Li², ZHANG Zhen-hua¹, SHU Jia-bin³, SONG Hai-xing¹, GUAN Chun-yun⁴

(1. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Hunan Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition in Common University, Changsha 410128, China; 2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150000, China; 3. Quzhou City Academy of Agricultural Sciences, Quzhou 324000, China; 4. Hunan Branch, National Center of Oilseed Crops Improvement Center, Changsha 410128, China)

Abstract: In order to clarify the relationship of carbon-nitrogen metabolism with nitrogen efficiency and its influence on quality of *Brassica napus*. Under soil cultivation with normal nitrogen supply and nitrogen stress supply conditions, studied two rape varieties: low-yield rape variety (variety A) and high-yield rape variety (variety B), assayed the difference and change of their photosynthetic parameters, soluble sugars, free amino acid, nitrate content, nitrogen efficiency, harvest index and fatty acid composition. The result showed that in two nitrogen conditions photosynthetic parameters of variety B were higher than variety A on seeding stage, while trend found in flowering stage were opposite. As for soluble sugars the amount of variety B is larger than that of variety in stem and leaves at flowering stage and silique stage, the amount of soluble sugars in stem and leaf of rape showed decreasing tendency from silique stage, moreover, compared with bolting stage sugars content at silique and harvest stage was reduce 53%~80%, soluble sugars of stem and leaf in two varieties were lower in normal nitrogen conditions while than in nitrogen

收稿日期: 2014-11-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071851; 31101596); 国家支撑计划项目(2012BAD15B04; 2012BAD15B04; 2010BAD01B01); 湖南省高校创新平台开放基金项目(12K064; 10K034)

作者简介: 余佳玲(1990-), 女, 湖南娄底人, 在读硕士, 主要从事植物营养生理研究。

通讯作者: 宋海星(1964-), 女, 黑龙江汤原人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事植物营养生理研究。

stress; the free amino acid of variety B of leaves at flowering stage, aboveground part at pod stage in two nitrogen conditions and leaves at bolting stage in nitrogen stress condition was lower than that of variety A, the adverse trend was found in two varieties in the other part and conditions. Free amino acids of the two varieties were decreased largely at pop stage. Amount of nitrate of rape in five stages, nitrogen efficiency, harvest index and quality of variety B were higher than that of variety A. Carbon-nitrogen metabolism has close influence on nitrogen efficiency, in favour of nitrogen accumulation and decreased largely at late stage, the variety had high carbon-nitrogen metabolism had high nitrogen efficiency and quality, variety B were superior to variety A, which has obvious breed goodness.

Key words: *Brassica napus*; Carbon-nitrogen metabolism; Nitrogen efficiency; Free amino acid

油菜是重要油料作物, 油分与产量为油菜种植的主要目标, 氮效率以及油菜产量与蛋白质积累关系密切, 主要由碳氮代谢等生理过程决定, 碳氮代谢对作物产量品质等的影响一直为国内外研究热点。光合碳代谢与氮代谢是作物主要代谢途径, 分别决定作物的产量与品质, 光合作用是碳代谢的基本途径, 该过程产生作物同化作用最初的物质与能量, Huppe 等^[1]研究发现, 作物光合作用所产生的能量与物质大部分用于支持碳、氮代谢, 某些组织中氮代谢对光合能量的消耗可达 55%。碳氮代谢关系密切, 其相互影响决定作物的产量与品质, Plaut^[2]通过对菠菜叶绿体的研究, 发现氮代谢由碳代谢光循环引发, 氨基酸的形成依靠光合作用提供能量与电子。高蛋白品种的光呼吸一般较强, 说明光合作用有益于油菜蛋白质积累^[3]。De La Torre 等^[4]将小麦与豌豆的叶片在充满 CO₂ 气体环境中, 加入 KNO₃, 发现 O₂ 升高, 表明 N 素参与光合器官的形成, 对作物叶片光合能力有正面影响, 张敏等^[5]通过分析四川盆地 10 个甘蓝型油菜品种产量与干物质分配的关系, 发现油菜籽粒碳水化合物的充实主要依靠光合产物, 油菜的高产需以高的干物质积累量为基础。刘浩荣等^[6]研究油菜不同时期各部位游离氨基酸与可溶性糖的含量, 结果表明, 游离氨基酸是氮代谢中心物质, 为作物体内氮素的主要运输方式, 为反应氮代谢的有效指标, 可溶性糖是碳代谢的中间产物, 为反应碳代谢强弱的有效指标, 光合碳代谢与氮代谢互相竞争光合作用所产生的能量与物质, 碳氮代谢存在竞争, 糖与氨基酸的生物合成途径相互竞争碳骨架与能量, 碳骨架是氨基酸生物合成的基础^[7], 有观点认为对碳氮代谢相关点的研究是提高作物氮素利用率的有效途径^[8]。目前, 有关油菜体内碳氮代谢特征及其与氮效率的关系, 对品质的影响研究较少。本试验研究不同品种油菜碳氮代谢特征, 及其对氮效率与品质的影响, 探明二者之间的关系, 旨在为扩充作物碳氮代谢生理过程理论库以及合理创造培养环境提供有效参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试油菜品种 本试验采用相对低产甘蓝型油菜品种沪油 15 和相对高产甘蓝型油菜品种 742, 分别用 A 和 B 表示, 均由中国油料作物改良中心湖南分中心提供。

1.1.2 试验设计 试验采用土培试验。供试土壤为第四纪红土母质发育的冲积菜园土, 在温棚中进行, 温棚用钢架搭架为 12 m(长) × 6 m(宽) × 2 m(高) 大小, 以透光性较好的聚乙烯无滴薄膜覆盖其表面, 试验设大气供氮水平和油菜品种 2 个因素, 每个因素 2 个水平, 供氮水平为施氮(纯 N 0.20 g/kg) 与不施氮, 油菜品种为沪油 15 和品种 742。共 4 个处理, 25 次重复, 每生育期 5 次重复, 共计 100 盆, 随机排列。选择 20 cm × 33 cm 的白色瓷质钵, 内装过 1.5 cm 筛的风干土 6.25 kg, 每钵移栽一株。肥料均作为底肥一次施用, 施氮处理的具体肥料用量为: 纯 N 为 20 g/kg, P₂O₅ 为 0.1 g/kg, K₂O 为 0.22 g/kg, 纯 B 为 0.008 g/kg, 不施氮处理其他肥料用量同施氮处理。

1.2 测定方法

测定时每处理选择 3 钵, 每钵 3 次重复。

1.2.1 光合特性的测定 选择晴天 9:30 – 11:30, 用 LI-6400 型便携式光合测定仪每钵选择生长最健壮的中部 3 个节位叶片进行测定, 测定指标包括光合速率 Pn: $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、气孔导度 Gs: $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、蒸腾速率 Tr: $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、胞间 CO₂ 浓度 Ci: $\mu\text{L}/\text{L}$ 、瞬时水分利用效率 WUE (Pn/Tr): $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。

1.2.2 硝酸盐的测定 浓硫酸-水杨酸法^[9]。

1.2.3 植株全氮的测定 浓硫酸-双氧水消化凯氏定氮法^[10]。

1.2.4 可溶性糖和游离氨基酸含量的测定 蒽酮比色法和茚三酮比色法^[11]。

1.2.5 籽粒油分的含量与籽粒脂肪酸组成 索氏提取法与气象色谱仪^[12]。

1.3 数据的处理和参数计算

试验数据均采用 SPSS 17.0 和 Excel 专业版统计软件处理。

含氮量(%) = 吸氮量/干物质量 × 100% ;

氮素吸收效率(%) = 单株总氮/(总施氮量 + 土壤中可利用氮);

苗期至角果发育期氮素利用效率(g/g) = 单株干物质重/单株总氮;

收获期氮素利用效率(g/g) = 籽粒干质量/籽粒总氮;

苗期至角果发育期氮效率(g/g) = 单株干物质重/(总施氮量 + 土壤中可利用氮);

收获期氮效率(g/g) = 籽粒干质量/(总施氮量 + 土壤中可利用氮);

氮素收获指数(%) = 籽粒氮素累积量/地上部氮素累积量;

收获指数 = 籽粒产量/收获期总生物量。

2 结果与分析

2.1 氮素水平对光合参数的影响

叶片是 C3 植物进行光合作用的场所。由表 1 可以看出,苗期无论哪种供氮水平,品种 A 光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)小于品种 B,盛花期呈现相反规律,其中无论哪种供氮水平,苗期 Gs 品种间差异达到显著水平。苗期与盛花期氮胁迫

迫水平下,品种 A 胞间 CO₂ 浓度(Ci)高于品种 B,苗期常氮时呈现相反规律,苗期品种间差异达到显著水平;苗期氮胁迫时品种 A 瞬时水分利用效率(WUE)高于品种 B,差异达到显著水平,常氮时则较低,差异不显著,盛花期 2 品种瞬时水分利用效率(WUE)相近,差异不明显。除品种 B 常氮时 Pn 与 Ci,及两种供氮水平下 Gs 盛花期较苗期有所降低,且两品种 WUE 有所降低外,其余情况下两品种所测参数皆在盛花期有所升高。除苗期品种 B 常氮时 Ci 升高而品种 A 降低,两品种皆表现为,常氮时 Pn、WUE 升高,Gs、Tr 降低,盛花期两品种常氮时 Pn、Gs、Ci、Tr 降低,WUE 升高。

2.2 光合碳氮代谢对可溶性糖含量的影响

由表 2 可以看出,除抽薹期氮胁迫时品种 A 茎中可溶性糖含量高于品种 B,其余无论哪种供氮水平,品种 B 地上部分与茎叶中可溶性糖含量高于品种 A,5 个生育期呈现相同规律,其中常氮时盛花期茎与叶、常氮时角果发育期茎与叶中品种间差异达到显著水平,氮胁迫时抽薹期叶片、盛花期叶片与角果发育期茎中差异显著。两品种 5 个时期茎叶大都表现为常氮时可溶性糖含量小于氮胁迫,常氮时利于可溶性糖转运利用,茎从角果发育期开始减少,叶中从盛花期开始减少,油菜茎叶中可溶性糖含量从角果发育期呈减少趋势,角果发育期与收获期较抽薹期减少 53%~80%。

表 1 氮素水平对油菜光合参数影响

Tab.1 Effects of N application rate on the photosynthetic parameters of oilseed rape

处理 Treatments	苗期 Seedling stage					盛花期 Flowering stage				
	Pn	Gs	Ci	Tr	WUE	Pn	Gs	Ci	Tr	WUE
A	13.89c	0.32bc	293.74b	1.64b	8.48b	20.28a	0.64a	307.2a	5.25a	4.91a
B	14.28c	0.49a	232.00a	2.35a	6.10c	17.79a	0.45ab	289.6ab	3.97a	5.65a
N-A	18.14bc	0.26cd	231.85c	1.56bc	11.68a	19.16a	0.34ab	254.4bc	3.29a	7.19a
N-B	20.38ab	0.41ab	279.86a	1.70b	12.27a	16.14a	0.27ab	228.9cd	2.43a	7.04a

注: N-A. 品种为沪油 15 且施氮处理; N-B. 品种为品系 742 且施氮处理; A. 品种为沪油 15 且氮胁迫处理; B. 品种为品系 742 且氮胁迫处理; 光合速率 Pn. $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 气孔导度 Gs. $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 蒸腾速率 Tr. $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 胞间 CO₂ 浓度 Ci. $\mu\text{L}/\text{L}$; 瞬时水分利用效率 WUE. $\mu\text{mol}/\text{mmol}$; 标注的字母相同表示同一生育期内各处理测定值在 0.05 水平上无显著差异。表 2~6 同。

Note: N-A. Indicated as Huyou 15 under normal nitrogen condition; N-B. Indicated as Pinxi 742 under normal nitrogen condition; A. Indicated as Huyou 15 under nitrogen stress condition; B. Indicated as Pinxi 742 under nitrogen stress condition; Photosynthetic rate. $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; Stomatal conductance. $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; Transpiration rate. $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; Inter-cellular CO₂ concentration. $\mu\text{L}/\text{L}$; Instant water use efficiency. $\mu\text{mol}/\text{mmol}$; Same letters above bars indicate that measurements at the same growth stage are not significantly different between treatments at the 0.05 probability level. The same as Tab. 2~6.

表 2 不同时期油菜茎叶中可溶性糖的含量

Tab.2 Soluble sugars of stem and leaf of oilseed rape at different stages

处理 Treatments	苗期	抽薹期		盛花期		角果发育期		收获期
	Seedling stage	Bolting stage		Flowering stage		Silique stage		Harvest stage
	地上部 Above ground	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem
A	18.93ab	27.75b	28.46b	27.65ab	19.73d	9.85cd	7.52cd	5.27a
B	20.76a	25.04b	35.10a	30.37ab	32.13ab	14.30a	9.51bc	5.47a
N-A	14.98b	24.66b	27.03b	24.10b	23.38cd	8.61d	7.00d	4.87a
N-B	19.17ab	24.68b	29.92b	33.94a	31.66ab	11.49bc	9.67bc	5.16a

2.3 光合碳氮代谢对游离氨基酸的影响

游离氨基酸是氮素在作物体内运输的主要形式,由表 3 可知,除抽薹期叶中游离氨基酸常氮时品种 A 大于品种 B,氮胁迫时品种 A 小于品种 B,无论哪种供氮水平,品种 A 苗期地上部、抽薹期茎、盛花期茎及角果发育期叶中游离氨基酸大于品种 B,品

种 A 盛花期叶及角果发育期地上部游离氨基酸小于品种 B,其中,常氮时盛花期叶中差异显著,氮胁迫时角果发育期叶中差异显著,说明品种 B 前期氮素积累强于品种 A,两品种皆表现为角果发育期游离氨基酸含量较大幅度减少。

表 3 油菜茎叶游离氨基酸

Tab. 3 Free amino acid of stem and leaf of oilseed rape

mg/100g

处理 Treatments	苗期 Seedling stage	抽薹期 Bolting stage		盛花期 Flowering stage		角果发育期 Silique stage	
	地上部 Above ground	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	地上部 Above ground	叶 Leaf
A	236.51c	204.97cd	219.36c	266.03a	257.43c	56.03c	180.31c
B	203.23c	188.75d	302.6bc	244.35ab	262.65c	87.27bc	144.42d
N-A	493.82a	311.72a	428.06a	278.36a	325.53b	136.82ab	260.49a
N-B	480.79ab	280.31ab	363.37ab	249.47ab	371.38a	167.58a	255.58a

2.4 光合碳氮代谢对硝酸盐含量的影响

硝酸盐的利用与累计是作物体内氮素营养的主要组成部分,为氮效率的影响因素之一。不同处理油菜茎叶中硝酸盐的含量如表 4,表明无论哪种供氮水平,苗期地上部、抽薹期与盛花期茎叶、角果发育期地上部与茎以及收获期茎内硝酸盐含量皆表现

为品种 B 大于品种 A,其中两品种氮胁迫时抽薹期茎、盛花期叶、角果发育期茎与地上部差异显著;常氮时抽薹期茎、盛花期茎、角果发育期茎与地上部差异显著;两品种皆表现为硝酸盐含量从盛花期开始下降,抽薹期茎叶中含量最高,收获期茎中硝酸盐含量较抽薹期减少了 90%。

表 4 油菜茎叶硝酸盐含量

Tab. 4 Nitrate content of stem and leaf of oilseed rape

μg/g

处理 Treatments	苗期 Seedling stage	抽薹期 Bolting stage		盛花期 Flowering stage		角果发育期 Silique stage		收获期 Harvest stage
	地上部 Above ground	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	地上部 Above ground	茎 Stem
A	419.6c	1 196.8c	1 345.8c	920.8bc	624.9c	270.3c	385.3d	89.4a
B	479.2c	1 599.9b	1 557.2bc	1 248.8ab	1 148.2a	475.5b	587.1a	93.3a
N-A	1 847.5ab	1 605.3b	1 349.3c	933.7bc	946.4ab	268.0c	392.8d	94.3a
N-B	2 806.1a	1 933.8a	1 563.3bc	1 370.7a	1 231.8a	543.5ab	516.7b	136.0a

2.5 光合碳氮代谢对氮效率的影响

氮吸收效率与氮利用效率是评价氮效率的 2 个指标,由表 5 可知,无论哪种供氮情况,品种 B 的氮

吸收效率、氮利用效率、收获指数以及氮收获指数皆大于品种 A,氮胁迫时氮利用效率与氮收获指数差异显著,常氮时氮吸收与利用效率差异显著。

表 5 收获期氮效率及收获指数

Tab. 5 Nitrogen efficiency and harvest index of rape at harvest stage

处理 Treatments	氮吸收效率/% Nitrogen absorption efficiency	氮利用效率/(g/g) Nitrogen use efficiency	收获指数/(g/g) Harvest index	氮收获指数/% Nitrogen harvest index
A	80.49ab	11.7c	0.20bc	57.57b
B	85.35a	14.1ab	0.25ab	69.91a
N-A	65.61bc	11.1bc	0.23abc	60.48b
N-B	83.14a	16.7a	0.26a	60.71b

2.6 碳氮代谢对脂肪酸组成的影响

脂肪酸的组成是决定油菜食用品质的重要因素,低芥酸为高品质油菜所需标准之一,油菜籽粒脂肪酸的组成主要包括软脂酸、亚麻酸、亚油酸、油酸、

硬脂酸、芥酸和花生烯酸,其中亚油酸与亚麻酸为必需氨基酸,即人体不能自行合成的氨基酸。由表 6 可以看出,2 种供氮情况下,除品种 B 亚油酸高于品种 A 且差异显著、氮胁迫时品种 B 亚麻酸高于品种

A 且差异显著、常氮时 2 个品种亚麻酸含量接近、芥酸含量相等、品种 B 硬脂酸常氮时大于品种 A 外,其余组分 2 种供氮情况下品种 B 各组分含量小于品种 A,氮胁迫时 2 个品种间的花生烯酸与硬脂酸差异显著,常氮时软脂酸品种间差异显著,品种 B

表现出拥有更好的品质。两品种表现为常氮时软脂酸与亚油酸小于氮胁迫,常氮时品种 B 硬脂酸、芥酸大于氮胁迫,2 种供氮水平下品种 A 芥酸含量相等,品种 B 油酸与花生烯酸含量相近。

表 6 油菜籽粒中脂肪酸组分

Tab.6 Fatty acid composition of rapeseed

处理 Treatments	软脂酸 C16:0	硬脂酸 C18:0	油酸 C18:1	亚油酸 C18:2	亚麻酸 C18:3	花生烯酸 C20:1	芥酸 C22:1
A	5.71a	3.90a	67.40ab	15.31bc	5.50c	0.81ab	0.86abc
B	4.89ab	2.77cd	65.24abc	17.81a	7.65ab	0.46cd	0.77c
N-A	5.65a	2.80cd	68.96a	13.92c	6.72bc	0.63bc	0.86abc
N-B	4.76b	3.00bc	65.56abc	17.25b	7.68ab	0.47cd	0.86abc

3 讨论

3.1 碳氮代谢对氮效率的影响

碳氮代谢为作物体内两大主要的基本代谢,决定油菜的产量与品质,苗期为油菜生育前期生物量积累代谢旺盛期,叶片为油菜光合作用主要进行场所,而花期叶片基本走向衰亡,氮素的同化积累需要作物通过光合作用所产生的碳架与能量^[13],CO₂同化的速率直接影响氮代谢所需能量与碳架的供应,与作物体内氮素积累关系密切^[14-15],本试验结果表明,苗期光合作用强有利于其游离氨基酸同化与硝酸盐积累,硝酸盐为作物氮素累积的主要形态之一,其含量直接反映氮素积累水平,碳氮代谢提高了茎中游离氨基酸的同化,有利于硝酸盐的积累,从而提高油菜氮效率。游离氨基酸既是氮代谢的中心物质,又是植物地上部与地下部氮素循环的主要形态^[16],能够反映植株体内的氮素营养状况。氮素参与了调控碳氮代谢的平衡,碳同化效率降低、碳氮代谢失调引起叶片 Pn 降低^[17-18],影响碳氮代谢所需 ATP 与碳骨架等的供应,本试验表明,油菜花期叶片开始衰老,叶与茎中可溶性糖含量与硝酸盐从花期开始减少,表明营养器官碳氮物质积累从花期开始减弱。可溶性糖为碳代谢分配运输及其转移的主要形式,可溶性糖的减少引起蛋白质合成的大幅降低,对氮效率有负面影响^[19],碳氮代谢强有利于可溶性糖的利用积累^[20],本试验结果与其相似,常氮时碳氮代谢正常较氮胁迫时有利于可溶性糖的利用积累,进而促进氮效率。

3.2 碳氮代谢品种优势

本试验所研究的 2 个品种中,品种 B 在 5 个时期硝酸盐的积累皆强于品种 A,且可溶性糖不仅是光合作用的主要产物,而且是碳水化合物代谢与暂时贮藏的重要形式,为碳代谢的重要反映指标,品种

B 可溶性糖含量高于品种 A,碳代谢较强。研究表明,硝酸盐可直接作为信号调节三羧酸与淀粉代谢等碳水化合物进程^[21-22],碳氮代谢互相促进,本试验得到相似结果,碳氮代谢强的品种,氮效率、氮素累积与收获指数表现出优势,为提高油脂品质奠定了基础。

3.3 碳氮代谢对油菜品质的影响

碳氮代谢增强油菜产量的同时,增强油菜的品质性状。研究表明,作物生长后期产量与品质形成所需氮素主要来源于营养器官,靠作物前期体内营养器官积累的有机氮的输出和转运,其中叶片的贡献最大^[23-24],刘浩荣等^[6]发现,油菜开花期与角果发育期的可溶性糖以及碳氮代谢与产量形成密切相关,本试验显示生殖生长期开始,油菜茎叶中可溶性糖与硝酸盐含量呈减少趋势且至生殖生长后期含量降幅较大,油菜营养生长期体内累积的氮素以及碳代谢中心产物可溶性糖随着生育期的推进大部分运出营养器官,碳氮代谢还有利于油菜必需氨基酸含量的提高,改善油菜品质。氮胁迫时油菜可溶性糖含量降低,表明氮代谢减弱影响碳代谢。

参考文献:

- [1] Huppe H C, Turpin D H. Intergration of carbon and nitrogen metabolism in plant and algal cells [J]. Ann Rev Physiol Plant Mol Riol, 1994, 45: 577 - 607.
- [2] Plaut Z, Lendzian K, Bassham J A. Nitrite reduction in reconstituted and whole spinach chloroplasts during carbon dioxide reduction [J]. Plant Physiology, 1977, 59 (2): 184 - 188.
- [3] 宋建民, 田纪春, 赵世杰. 植物光合碳和氮代谢之间的关系及其调节 [J]. 植物生理学通讯, 1998, 34 (3): 230 - 238.
- [4] De La Torre A, Delgado B, Lara C. Nitrate-Dependent O₂ evolution in intact leaves [J]. Plant Physiol, 1991, 96: 898 -

- 901.
- [5] 张敏,陶诗顺,黄露,等.甘蓝型杂交油菜干物质积累、分配及其与产量关系研究[J].中国种业,2009(11):51-54.
- [6] 刘浩荣,宋海星,刘代平,等.油菜茎叶可溶性糖与游离氨基酸含量的动态变化[J].西北农业学报,2007,16(1):123-126.
- [7] Halford N G, Hey S, Jhurrea D, *et al.* Highly conserved protein kinases involved in the regulation of carbon and amino acid metabolism[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(394):35-42.
- [8] Good A G, Shrawat A K, Muench D G. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production[J]. Trends in Plant Science, 2004, 9(12):597-605.
- [9] 庞静,朱建国,刘刚.开放式空气 CO₂ 浓度增高对水稻体内不同形态 N 素含量的影响[J].农业环境科学学报,2005,24(5):833-837.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [11] 邹琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [12] 郑炳松.现代植物生理生化研究技术[M].北京:气象出版社,2006.
- [13] Yanagisawa S, Akiyama A, Kisaka H, *et al.* Metabolic engineering with Dof1 transcription factor in plants: Improved nitrogen assimilation and growth under low-nitrogen conditions[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(20):7833-7838.
- [14] Hikosaka K. Interspecific difference in the photosynthesis-nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance[J]. Journal of Plant Research, 2004, 117(6):481-494.
- [15] Daepp M N, Sberger J, Locher A. Nitrogen fertilization and developmental stage alter the response of *Lotium perenne* to elevated CO₂ [J]. New Phytologist, 2001(150):347-358.
- [16] 李燕婷,米国华,陈范骏,等.玉米幼苗地上部/根间氮的循环及其基因型差异[J].植物生理学报,2001,27(3):226-230.
- [17] 云菲,刘国顺,史宏志.光氮互作对烟草气体交换和部分碳氮代谢酶活性及品质的影响[J].作物学报,2010,36(3):508-516.
- [18] 赵宪凤,刘卫群,王树会.氮、磷、钾对烤烟碳氮代谢关键酶活性及其经济效益的影响[J].华北农学报,2012,27(4):181-185.
- [19] Nakano H, Makino A, Mae T. The effect of elevated partial pressures of CO₂ on the relationship between photosynthetic capacity and N content in rice leaves[J]. Plant physiology, 1995, 115:191-198.
- [20] 郭庆法,王庆成,汪黎明.中国玉米栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,2004:117-167.
- [21] Olivera I C, Coruzzi G M. Carbon and amino acids reciprocally modulate the expression of glutamine synthase in *Arabidopsis* [J]. Plant Physiology, 1999(121):301-309.
- [22] Wilson A, Pickett F B, Turner J C, *et al.* A dominant mutation in *Arabidopsis* confers resistance to auxin, ethylene and abscisic acid[J]. Molecular and General Genetics, 1990, 222(2/3):377-383.
- [23] Sinclair T R, De C T. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops[J]. Science, 1975, 189(4202):565-567.
- [24] 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.