

不同薏苡品种光合特性及其与氮素利用效率的关系

Nghiem Tien Chung^{1,2} 江立庚^{1*} 孔飞扬¹ Bui Ngoc Anh³

(1 广西大学 农学院, 南宁 530004;

2. 药材研究院, 河内 10000, 越南;

3. 山罗高等学校, 山罗 27000, 越南)

摘要 为明确薏苡品种的光合特性及其与氮素利用效率间的关系。2015年早季和晚季,分别以从大田试验中筛选出来的氮素利用效率较高和较低品种各2个为材料进行盆栽试验,在分蘖期、抽穗期和成熟期测定功能叶片光合速率及叶绿素荧光参数,抽穗期测定顶部4片功能叶的光合速率,成熟期测定氮素积累量和氮素利用效率。结果表明,氮高效品种西林1号(XL)与黔饮1号(QL)早季和晚季成熟期单株氮素吸收量平均分别比氮低效品种隆林1号(LL)与品种10号(CU)高125.5%和96.0%,其氮素利用效率平均比品种LL与CU分别高出17.7%和18.0%,品种间差异显著。氮高效品种在分蘖期、抽穗期和成熟期功能叶片的光合速率和叶绿素含量均明显高于氮低效品种。同时,氮高效品种在分蘖期后的光合速率、叶绿素含量衰减速率比氮低效品种小。不同品种在分蘖期、抽穗期和成熟期功能叶片的叶绿素荧光参数及抽穗期顶部4片功能叶光合速率也存在一定的差异,但品种间的变化规律不明显。综上所述,氮高效薏苡品种各生育期功能叶片的光合速率和叶绿素含量较高,其中后期光合速率及叶绿素含量衰减较慢。薏苡品种氮素利用效率与功能叶片的叶绿素荧光参数及顶部4片功能叶光合速率的变化没有显著的相关关系。

关键词 薏苡 氮素利用效率 光合特性 光合速率 叶绿素含量 叶绿素荧光

中图分类号 S311

文章编号 1007-4333(2018)11-0031-09

文献标志码 A

Photosynthetic characteristics and its relationship with nitrogen utilization efficiency of different coix cultivars

Nghiem Tien Chung^{1,2}, JIANG Ligeng^{1*}, KONG Feiyang¹, Bui Thi Anh³

(1. Agriculture College of Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. National Institute of Medicinal Materials, Ha Noi 10000, Vietnam;

3. Son La College, Son La 27000, Vietnam)

Abstract This study explored the relationship between leaf photosynthetic characteristics and nitrogen use efficiency (NUE) of Coix cultivars. In early and late seasons of 2015, two pot experiments were conducted with four Coix cultivars with high NUE (XL and QY) and low NUE (LL and CU). Data were collected at tillering, heading and maturity stages to assess the relationship between leaf photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence attribute. The photosynthetic rate and NUE of functional leaves (specify the leaf e.g. upper fully expanded leaf) were determined at heading stage. The results showed that the nitrogen uptake of high NUE cultivar LL and QL in the early and late seasons were respectively 125.5% and 96.0% higher by than those in low NUE cultivar XL and CU. Compared with LL and CU cultivars, the NUE on average of XL and QL were respectively 7.7% and 18.0% higher. The leaf photosynthetic rate and chlorophyll content of the high NUE cultivar were significantly higher than those of the low NUE variety at tillering, heading and maturity stage. At the same time, the photosynthetic rate and chlorophyll content of the high NUE cultivars were lower than those of nitrogen inefficient varieties after tillering stage. The chlorophyll fluorescence parameters and

收稿日期: 2017-11-16

基金项目: 广西八桂学者专项(桂人才通字(2011)4号)

第一作者: Nghiem Tien Chung, 博士研究生, E-mail: nghiemtienchung@gmail.com

通讯作者: 江立庚, 教授, 主要从事水稻栽培研究, E-mail: jiang@gxu.edu.cn

the photosynthetic rate of functional leaves at the full tillering, heading and maturity stages were not similar, but the variation pattern was not obvious. The photosynthetic rate and chlorophyll content of the functional leaves of the high-yielding cultivars were greater in the early growth stages but decreased later in the season. No significant relationship was observed between NUE and the chlorophyll fluorescence parameters and the change in photosynthetic rate of four functional leaves.

Keywords coix; nitrogen utilization efficiency; photosynthetic rate; chlorophyll fluorescence

随着社会的发展与人们生活水平的提高,保健食品需求越来越大。薏苡作为中国传统保健食品,含有人体所必需的17中氨基酸及多种重要的微量元素(Ca、Cu、Fe、Mg、Mn和Zn等)^[1],具有健脾止泻、除痹、排脓和解毒散结等作用^[2]。薏苡主要产于贵州、云南和福建等地区,但由于产量很低,种植效益不高,限制了其生产发展^[3]。氮素作为作物生长三大营养元素之一,与作物的生长息息相关。在一定范围内,随着施氮量的增加,作物群体叶面积指数、干物质总积累量、产量和群体光合有效辐射截获量和辐射利用率都相应增加^[4-5]。合理使用氮肥,对作物的生长和光合能力有重要的影响。过量氮肥的使用,不仅会给作物带来疯长贪青以致减产的可能,还会给环境造成严重伤害。目前农业上氮施用量普遍较大,高效地运用肥料是人们不断追求的目标。另一方面,在氮素缺乏情况下,作物生长受到阻碍,叶片的叶绿素含量以及相应的酶活性下降,导致光合作用生产的有机物下降,进而影响营养吸收和产量形成。前人研究表明,作物氮素利用效率与光合性状存在较密切的关系。氮高效品种具有光合优势^[6],后期有效延缓植株衰老,保证叶片持续较高的叶绿素含量和净光合速率^[7]。安久海等^[8]研究表明,氮高效水稻品种更能适应低氮环境,且低氮条件有利于根系的生长。虽然前人围绕密度及水肥管理等对薏苡产量的影响开展了较多的研究^[9-12],但是,薏苡的氮素利用特性与其光合特性相结合方面的研究尚未见报道。本研究在大田品种筛选的基础上,选用不同氮效率品种进行盆栽试验,研究不同氮效率薏苡品种的光合特性及其与氮素利用效率的关系,旨在为薏苡的栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2015年在广西大学农学院试验大棚进行盆栽试验。供试土壤取自水稻田,取样前稻田种植薏苡1年。供试土壤pH 6.12,碱解氮112.35 mg/kg、

有效磷10.74 mg/kg、速效钾91.39 mg/kg、有机质含量0.58%。试验所用塑料盆的直径25 cm,高30 cm。供试4个品种来自2014年的大田品种筛选结果^[13],其中,西林1号(XL)和黔饮1号(QY)为氮高效品种,隆林1号(LL)和品种10号(CU)为氮低效品种。隆林1号种子由隆林县农业局提供,西林1号种子由西林县农业局提供,黔饮1号和品种10号品种种子由贵州省农科院经济作物研究所提供。

1.2 试验方法

试验于2015年早季和晚季进行,早季和晚季采用相同试验方法。设品种和施肥水平2个因素。供试品种包括氮高效品种和氮低效品种各2个。施肥因素设施氮肥和不施氮肥。施氮肥处理为氮肥4.9 g/盆、磷肥12.5 g/盆和钾肥3.3 g/盆。肥料分次施入,氮肥施用方法为,基肥占总施氮量40% 苗肥施15%,分蘖肥占40%,穗肥占5%;磷肥全部作基肥施用;钾肥使用方法为基肥占总施钾肥量的50%,分蘖肥占总施钾肥的50%。不施氮肥处理在全生育期不施用氮肥,其磷肥和钾肥的施用数量和方法与施氮肥处理相同。试验共组成8个处理。各处理品种及总施肥量如表1所示。

表1 试验处理及施氮水平

Table 1 Test treatment and nitrogen application level
g/盆

处理 Treatment	氮肥施用量 N application amount	磷肥施用量 P application amount	钾肥施用量 K application amount
不施氮肥	0	12.5	3.3
施氮肥	4.9	12.5	3.3

1.3 调查内容与方法

功能叶光合性状测定。于分蘖期、抽穗期和成熟期,选择晴天9:00—11:00,采用LI-6400型光合作用测定仪测定顶部功能叶的胞间二氧化碳浓度 C_i 和大气二氧化碳浓度 C_a ,每处理测定3~5次。然后将叶片剪下,以95%乙醇为提取液,采用分光光度法测定功能叶叶绿素含量。同时,用PAM-

2500 便携式调制叶绿素荧光仪(德国 WALZ 公司)同步测定功能叶叶绿素荧光参数。在薏米的早季和晚季移栽后分蘖期、抽穗期和成熟期选择晴朗的上午 9:00—11:00 测定功能叶叶绿素荧光参数,测定时,先使叶片暗适应 30 min,把光纤探头放入暗适应叶夹,在饱和脉冲工作模式下选择自动测量诱导曲线,然后在饱和脉冲工作模式下测定 ETR、Yield、 qP 、 qN 、 F_o 、 F_m 和 F_v/F_m 等参数,每个处理重复 5~6 次。

抽穗期不同部位功能叶光合速率测定。在抽穗期,每处理选择生长一致植株 5 株,采用 LI-6400 型光合作用测定仪测定顶部 4 片功能叶的光合速率。

植株干物质与氮素积累量测定。成熟期每处理取代表性植株 3 株,于 105 °C 杀青 1 h,80 °C 烘干至恒重并称重。其粉碎后的样品用凯氏定氮法测定全

氮含量。植株氮素总吸收量(Total nitrogen accumulation, TNA)用成熟期单株氮素含量与成熟期单株干物质积累量之积表示, g/株;氮素利用效率=成熟期单株干物质积累量/成熟期单株总吸氮量, g/g。

2 结果与分析

2.1 不同品种的氮素吸收量和利用效率

表 2 表明,品种 XL 与 QL 早季和晚季成熟期单株氮素吸收量平均分别比品种 LL 与 CU 高出 125.5% 和 96.0%,其氮素利用效率平均比品种 LL 与 CU 分别高出 17.7% 和 18.0%,品种间的差异在早季和晚季均达到显著水平。这表明,从大田试验中筛选出来的氮高效和氮低效品种,在盆栽试验中依然表现为氮素效率较高和较低。

表 2 供试 4 个薏苡品种氮素吸收量和氮素利用效率

Table 2 Nitrogen uptake and utilization rate of 4 coix cultivars experimented

品种 Cultivar	早季 Early season		晚季 Late season	
	氮素吸收量/ (g/株) N uptake	氮素利用效率/ (g/g) NUE	氮素吸收量/ (g/株) N uptake	氮素利用效率/ (g/g) NUE
LL	1.21±0.08 c	60.01±4.80 b	1.12±0.07 c	82.73±7.45 b
CU	1.14±0.08 c	64.88±5.19 b	1.15±0.07 c	84.50±7.61 b
XL	2.29±0.16 b	72.86±5.83 a	1.93±0.12 b	99.93±8.99 a
QY	3.01±0.21 a	74.14±5.93 a	2.55±0.15 a	97.38±8.76 a

注:同一生育时期同一列不同字母表示达到 5% 显著水平。XL,西林 1 号; QY,黔饮 1 号为氮高效品种。LL,隆林 1 号; CU,品种 10 号为氮低效品种。下同。

Note: Different letters within same column at the same childbearing period represent significances at 5% level. XL, Xilin 1; QY, Qianyin 1; Both are high-efficiency nitrogen cultivars. LL, Longlin; CU, Pinzhong10. The same below.

2.2 不同品种各生育期的叶片光合速率

表 3 表明,4 个供试薏苡品种的叶片光合速率表现出共同的变化特征,即同一品种叶片光合速率随生育进程而下降,成熟期叶片光合速率最低, XL 早季不施氮肥成熟期略高于抽穗期;同一品种在同一生育时期施氮肥处理高于不施氮肥处理。

表 3 还表明,供试 4 个薏苡品种的叶片光合速率在 3 个生育期均存在显著差异,仅早季不施氮肥下抽穗期的差异不显著,其中,氮效率较高品种 XL 和 QY 在 3 个生育时期的叶片光合速率整体上高于

氮效率较低品种 LL、CU。进一步比较发现,品种 XL 和 QY 分蘖期与成熟期叶片光合速率的差值显著比品种 LL 和 CU 高。这表明,氮效率较高品种不仅表现出较高的叶片光合速率,其叶片光合速率还表现出较低的衰减速率。

2.3 不同品种叶绿素含量及荧光参数的差异

表 4 表明,4 个品种早季和晚季叶片叶绿素含量均以成熟期最低,多数情况下抽穗期叶绿素含量高于分蘖期;施用氮肥在早季和晚季均能显著地提高叶片叶绿素含量。

无论是施用氮肥还是不施用氮肥,氮效率较高

品种成熟期叶绿素含量在早季和晚季均显著高于氮效率较低品种。氮效率较高品种分蘖期和成熟期叶绿素含量在早季和晚季亦高于氮效率较低品种,但

差异没有达到显著水平。这表明,氮效率较高品种不仅表现出较高的叶绿素含量,其叶绿素含量还表现出较低的衰减速率。

表3 不同施肥水平下薏苡品种不同生育期的叶片光合速率

Table 3 Leaf photosynthetic rate across growth stages under different fertilizer regulations $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

施氮水平/ (g/盆) N rate	品种 Cultivar	早季 Early season			晚季 Late season		
		分蘖期	抽穗期	成熟期	分蘖期	抽穗期	成熟期
		Tillering	Heading	Maturity	Tillering	Heading	Maturity
0.0	LL	9.08±0.64 b	6.06±0.36 a	3.29±0.20 b	6.41±0.51 d	5.60±0.39 d	3.96±0.36 b
	CU	10.35±0.72 b	6.00±0.36 a	3.43±0.21 b	8.72±0.70 c	8.19±0.57 c	3.26±0.29 c
	XL	10.24±0.72 b	5.83±0.35 a	6.06±0.36 a	9.41±0.75 b	9.60±0.67 b	5.43±0.49 a
	QY	12.12±0.85 a	6.63±0.40 a	6.30±0.38 a	12.30±0.98 a	10.22±0.72 a	5.40±0.49 a
4.9	LL	11.71±0.82 c	6.56±0.39 b	3.82±0.23 b	8.59±0.69 c	7.85±0.55 c	3.73±0.34 b
	CU	16.81±1.18 b	7.00±0.42 b	3.93±0.24 b	11.80±0.94 b	10.85±0.76 b	3.72±0.33 b
	XL	19.03±1.33 a	9.91±0.59 a	7.80±0.47 a	14.90±1.19 a	11.65±0.82 b	6.73±0.61 a
	QY	19.32±1.35 a	10.72±0.64 a	7.73±0.46 a	14.11±1.13 a	12.44±0.87 a	7.22±0.65 a

表4 不同施氮水平下薏苡品种不同生育期的叶绿素含量

Table 4 Chlorophyll content across growth stages under different fertilizer regulation mg/kg

施氮水平/ (g/盆) N rate	品种 Cultivar	早季 Early season			晚季 Late season		
		分蘖期	抽穗期	成熟期	分蘖期	抽穗期	成熟期
		Tillering stage	Heading stage	Maturity stage	Tillering	Heading stage	Maturity
0.0	LL	43.73±3.61 a	45.31±2.72 a	34.28±2.06 b	32.58±3.32 a	38.38±3.07 a	34.73±2.43 b
	CU	43.98±3.08 a	41.68±2.50 a	30.00±1.80 b	33.13±3.82 a	42.73±3.42 a	31.91±2.23 b
	XL	44.36±3.11 a	46.00±2.76 a	42.18±2.53 a	36.71±3.04 a	48.31±3.86 a	41.95±2.93 a
	QY	43.95±3.08 a	44.31±2.66 a	43.38±2.60 a	38.20±3.38 a	51.60±4.13 a	42.70±2.98 a
4.9	LL	46.90±3.28 a	48.35±2.90 a	36.13±2.17 b	38.60±3.74 a	46.53±3.72 a	31.85±2.23 b
	CU	48.53±3.40 a	48.28±2.89 a	34.65±2.08 b	38.75±3.88 a	47.30±3.78 a	30.95±2.16 b
	XL	48.90±3.42 a	49.71±2.98 a	49.78±2.98 a	44.05±4.65 a	50.15±4.01 a	44.13±3.09 a
	QY	51.63±3.61 a	52.68±3.16 a	49.58±2.97 a	41.88±3.77 a	51.06±4.14 a	46.06±3.22 a

表5和表6表明,在早季,大部分叶绿素荧光参数在品种间差异不显著。相反,在晚季,大部分叶绿素荧光参数的品种间差异显著。然而,无论是早季

还是晚季,氮效率较高品种与氮效率较低品种间没有表现出明显的变化规律。这表明,叶绿素荧光对氮素利用效率的影响很小,即两者相关性小。

表 5 不同施氮水平下薏苡品种早季各生育期的叶绿素荧光参数

Table 5 Chlorophyll fluorescence parameters across growth stages under different fertilizer regulations in early season

生育期 Growth period	施氮水平/ (g/盆) N rate	品种 Cultivar	F_v/F_m	$\Phi PS II$	qP	qNP	ETR
分蘖期 Tillering	0.0	LL	0.77±0.05 a	0.27±0.02 a	0.76±0.05 c	0.84±0.08 a	0.24±0.02 a
		CU	0.74±0.05 a	0.27±0.02 a	2.49±0.15 a	0.91±0.08 a	0.14±0.01 a
		XL	0.71±0.05 a	0.19±0.01 a	1.76±0.11 b	0.90±0.08 a	0.11±0.01 a
		QY	0.77±0.05 a	0.29±0.02 a	0.81±0.05 c	0.84±0.08 a	0.21±0.02 a
	4.9	LL	0.80±0.06 a	0.16±0.01 a	0.38±0.02 a	0.80±0.07 a	0.23±0.02 a
		CU	0.78±0.05 a	0.29±0.02 a	1.51±0.09 a	0.86±0.08 a	0.26±0.02 a
		XL	0.77±0.05 a	0.27±0.02 a	0.74±0.04 a	0.83±0.07 a	0.29±0.02 a
		QY	0.75±0.05 a	0.17±0.01 a	1.03±0.06 a	0.86±0.08 a	0.22±0.02 a
抽穗期 Heading	0.0	LL	0.80±0.06 a	0.29±0.02 a	0.72±0.04 a	0.83±0.07 a	3.60±0.29 a
		CU	0.81±0.06 a	0.29±0.02 a	0.71±0.04 a	0.82±0.07 a	3.37±0.27 a
		XL	0.80±0.06 a	0.17±0.01 a	0.65±0.04 a	0.82±0.07 a	3.10±0.25 a
		QY	0.83±0.06 a	0.24±0.01 a	0.67±0.04 a	0.78±0.07 a	3.70±0.30 a
	4.9	LL	0.81±0.06 a	0.26±0.02 a	0.52±0.03 a	0.78±0.07 a	5.84±0.47 a
		CU	0.81±0.06 a	0.18±0.01 a	0.37±0.02 a	0.79±0.07 a	5.37±0.43 a
		XL	0.81±0.06 a	0.22±0.01 a	0.54±0.03 a	0.83±0.07 a	5.71±0.46 a
		QY	0.83±0.06 a	0.29±0.02 a	0.71±0.04 a	0.81±0.07 a	6.95±0.56 a
成熟期 Maturity	0.0	LL	0.78±0.05 a	0.46±0.03 a	0.84±0.05 a	0.86±0.08 a	5.70±0.46 a
		CU	0.78±0.05 a	0.36±0.02 a	0.44±0.03 a	0.31±0.03 b	5.00±0.40 a
		XL	0.76±0.05 a	0.31±0.02 a	0.49±0.03 a	0.81±0.07 a	2.78±0.22 a
		QY	0.78±0.05 a	0.46±0.03 a	0.35±0.02 a	0.37±0.03 b	5.75±0.46 a
	4.9	LL	0.77±0.05 a	0.32±0.02 a	0.35±0.02 a	0.31±0.03 a	3.54±0.28 a
		CU	0.76±0.05 a	0.28±0.02 a	0.29±0.02 a	0.26±0.02 a	4.16±0.33 a
		XL	0.74±0.05 a	0.41±0.02 a	0.47±0.03 a	0.36±0.03 a	6.33±0.51 a
		QY	0.79±0.06 a	0.40±0.02 a	0.41±0.02 a	0.34±0.03 a	6.20±0.50 a

表 6 不同施氮水平下薏苡品种晚季不同生育期的叶绿素荧光参数

Table 6 Chlorophyll fluorescence parameters across growth stages under different fertilizer regulations in late season

生育期 Growth period	施氮水平/ (g/盆) N rate	品种 Cultivar	F_v/F_m	$\Phi PS II$	qP	qNP	ETR
分蘖期 Tillering	0.0	LL	0.78±0.05 a	0.24±0.01 c	0.73±0.04 b	0.87±0.08 a	0.22±0.02 a
		CU	0.79±0.06 a	0.32±0.02 b	0.96±0.06 b	0.86±0.08 a	0.24±0.02 a
		XL	0.77±0.05 a	0.44±0.03 a	1.92±0.12 a	0.98±0.09 a	0.20±0.02 a
		QY	0.81±0.06 a	0.12±0.01 d	0.25±0.02 c	0.75±0.07 a	0.12±0.01 b
	4.9	LL	0.74±0.05 a	0.24±0.01 c	0.73±0.04 c	0.84±0.08 b	0.24±0.02 c
		CU	0.79±0.06 a	0.12±0.01 d	0.30±0.02 d	0.79±0.07 b	0.14±0.01 d
		XL	0.78±0.05 a	0.33±0.02 b	3.31±0.20 a	0.98±0.09 a	0.33±0.03 b
		QY	0.84±0.06 a	0.43±0.03 a	0.93±0.06 b	0.82±0.07 b	0.36±0.03 a

表6(续)

生育期 Growth period	施氮水平 (g/盒) N rate	品种 Cultivar	Fv/Fm	ΦPSII	qP	qNP	ETR
抽穗期 Heading	0.0	LL	0.80±0.06 a	0.14±0.01 c	0.67±0.04 b	0.93±0.08 a	2.64±0.21 a
		CU	0.82±0.06 a	0.33±0.02 b	0.60±0.04 b	0.76±0.07 b	2.71±0.22 a
		XL	0.82±0.06 a	0.16±0.01 c	0.36±0.02 c	0.82±0.07 ab	2.84±0.23 a
		QY	0.84±0.06 a	0.43±0.03 a	1.19±0.07 a	0.89±0.08 ab	3.25±0.26 a
	4.9	LL	0.82±0.06 a	0.24±0.01 a	0.49±0.03 a	0.76±0.07 a	5.80±0.46 a
		CU	0.83±0.06 a	0.16±0.01 b	0.33±0.02 b	0.80±0.07 a	3.74±0.30 b
		XL	0.83±0.06 a	0.16±0.01 b	0.45±0.03 a	0.89±0.08 a	5.48±0.44 a
		QY	0.85±0.06 a	0.14±0.01 b	0.24±0.01 c	0.75±0.07 a	3.41±0.27 b
成熟期 Maturity	0.0	LL	0.77±0.05 a	0.19±0.01 a	0.24±0.01 a	0.22±0.02 a	2.58±0.21 c
		CU	0.77±0.05 a	0.21±0.01 a	0.23±0.01 a	0.22±0.02 a	3.65±0.29 b
		XL	0.78±0.05 a	0.46±0.03 a	0.45±0.03 a	0.38±0.03 a	7.04±0.56 a
		QY	0.77±0.05 a	0.46±0.03 a	0.45±0.03 a	0.38±0.03 a	7.44±0.60 a
	4.9	LL	0.76±0.05 a	0.27±0.02 b	0.29±0.02 b	0.25±0.02 a	4.55±0.36 a
		CU	0.77±0.05 a	0.26±0.02 b	0.29±0.02 b	0.26±0.02 a	4.80±0.38 a
		XL	0.76±0.05 a	0.40±0.02 a	0.42±0.03 a	0.35±0.03 a	6.70±0.54 a
		QY	0.79±0.06 a	0.22±0.01 b	0.23±0.01 c	0.22±0.02 a	4.20±0.34 a

2.4 不同部位叶片的光合速率

表7表明,同一植株上部4片全展叶的光合速率存在显著的差异,一般表现为倒一叶最低,倒二叶增

加,倒三叶达到最大,倒四叶光合速率下降。4个供试品种在早季和晚季的各个生育期均表现出相同的变化规律。氮高效品种与氮低效品种间差异不显著。

表7 薏苡不同部位叶片光合速率的品种差异

Table 7 Difference of leaf photosynthetic rate on different parts of coix plant between varieties

生育期 Growth stage	叶位 Leaf position	早季 Early season				晚季 Late season			
		LL	CU	XL	QY	LL	CU	XL	QY
分蘖期 Tillering	倒一叶	4.33 d	4.90 c	4.70 d	6.70 d	4.12 d	4.66 d	4.75 d	6.57 d
	倒二叶	6.87 c	11.29 a	11.41 b	12.06 b	6.66 c	11.13 b	11.37 b	12.18 b
	倒三叶	11.18 a	11.85 a	13.43 a	15.11 a	11.12 a	12.80 a	13.26 a	14.37 a
	倒四叶	9.07 b	8.62 b	8.51 c	9.24 c	8.39 b	8.60 c	8.86 c	9.50 c
抽穗期 Heading	倒一叶	5.29 c	6.37 c	5.99 c	7.33 d	4.60 b	7.50 c	5.10 c	9.20 c
	倒二叶	5.10 c	7.80 c	8.70 b	9.22 c	12.10 a	13.30 b	11.39 b	15.11 b
	倒三叶	11.20 a	13.26 a	11.33 a	15.37 a	13.45 a	16.45 a	15.64 a	17.20 a
	倒四叶	8.05 b	10.90 b	9.80 ab	12.10 b	4.50 b	5.20 d	3.59 c	6.30 d
成熟期 Maturity	倒一叶	3.90 b	3.85 bc	3.89 b	4.08 b	3.70 b	3.45 c	2.35 d	6.70 c
	倒二叶	4.23 b	4.40 ab	5.30 a	6.39 a	6.20 a	4.05 bc	4.66 a	8.02 b
	倒三叶	5.80 a	4.90 a	5.00 a	6.50 a	6.50 a	5.60 a	7.50 b	12.15 a
	倒四叶	3.63 b	3.72 c	3.70 b	3.85 b	4.50 b	4.40 b	3.80 c	5.00 d

2.5 光合特性与氮素利用效率的相关性分析

由表 8 分析可知, 薏苡氮素吸收总量与分蘖期和抽穗期光合速率显著正相关, 与成熟期相关性不显著; 氮素生理利用效率与分蘖期和抽穗期光合速率显著正相关, 与成熟期相关性不显著。

由表 9 可知, 无论是早季还是晚季, 薏苡氮素吸

收量和氮素利用效率与各时期叶绿素含量相关系数均在 0.75 以上, 且显著影响抽穗期和成熟期叶片叶绿素含量。氮素利用率越大, 分蘖期和成熟期叶片叶绿素含量越高, 即分蘖期和成熟期叶绿素含量与氮素利用率显著正相关。由此推断, 氮素利用率高的品种前期和后期的叶绿素含量较高。

表 8 薏米吸收利用效率与光合速率指标相关性分析

Table 8 Analysis on correlation between uptake and utilization efficiency and leaf photosynthetic rate across growth stages indexes

参数 Index	氮素吸收总量 NCA	氮素生理利用效率 NPUE	分蘖期光合速率 TSPR	抽穗期光合速率 HSPR	成熟期光合速率 MSPR
氮素吸收总量	1				
氮素生理利用效率	0.75**	1			
分蘖期光合速率	0.69**	0.64**	1		
抽穗期光合速率	0.7**	0.59**	0.89**	1	
成熟期光合速率	0.45	0.31	0.68	0.58	1

注: * 表示相关性显著 ($P < 0.05$)。下同。其中 NCA 表示 Nitrogen cumulative amount, NPUE 表示 Nitrogen physiological utilization efficiency, TSPR 表示 Tillering stage photosynthetic rate, HSPR 表示 heading stage photosynthetic rate, MSPR 表示 Mature stage photosynthetic rate。

Note: * The correlation is significant at the 0.05 level (two-tailed). The same below. Among them, NCA indicates Nitrogen cumulative amount, NPUE indicates Nitrogen physiological utilization efficiency, TSPR indicates Tillering stage photosynthetic rate, and HSPR indicates a heading stage Photosynthetic rate, MSPR stands for Mature stage photosynthetic rate.

表 9 薏苡氮素利用效率与叶绿素含量相关性分析

Table 9 Correlation analysis of nitrogen utilization efficiency and chlorophyll content in coix

参数 Index	早季 Early season					晚季 Late season				
	氮素 吸收量 NCA	氮素 利用 效率 NPUE	分蘖期 叶绿素 含量 TSCC	抽穗期 叶绿素 含量 HSCC	成熟期 叶绿素 含量 MSCC	氮素 吸收量 NCA	氮素 利用效率 NPUE	分蘖期 叶绿素 含量 TSCC	抽穗期 叶绿素 含量 HSCC	成熟期 叶绿素 含量 MSCC
氮素吸收量	1					1				
氮素利用效率	0.915	1				0.877	1			
分蘖期叶绿素含量	0.883	0.859	1			0.751	0.973*	1		
抽穗期叶绿素含量	0.956*	0.811	0.936	1		0.989*	0.923	0.811	1	
成熟期叶绿素含量	0.941*	0.927*	0.718	0.801	1	0.959*	0.968*	0.901	0.970*	1

3 讨论

氮高效薏苡品种的叶绿素含量较高, 抽穗后叶绿素含量衰减率较低。氮素是叶绿素形成的重要元素之一, 叶色的深浅可作为衡量植株体内氮素水平高低的标志^[14-15]。在本研究中, QY 和 XL 是氮高效品种, 其吸氮量和氮素利用率均较氮低效品种

CU 和 LL 高, 其叶绿素含量也较氮低效品种 CU 和 LL 低。研究结果显示, 氮高效薏苡品种 QY 和 XL 对氮素的吸收能力较氮低效薏苡品种 CU 和 LL 强, 而氮素是维持叶绿素的重要元素, 氮素含量越高叶绿素含量越高。且薏苡氮素含量与中后期叶绿素含量成正相关关系, 氮素利用率与前后期叶绿素含量正相关。即高效氮薏苡品种主要在前后期增加叶

绿素含量,中期叶片叶绿素含量与低效氮薏苡品种差距不大。氮素在植株体内的分配及叶绿体的发育是影响各生育期光合氮素利用率的主要原因,氮素含量影响了叶绿体分裂能力^[16],因此氮高效薏苡品种各生育期叶片具有较高的叶绿素含量。氮素含量与氮素利用率均与分蘖期和抽穗期光合速率显著正相关,即高效氮薏苡品种在生长前期和中期光合速率较高。有研究结果显示,植物的营养水平增加使光合效率也增加,这一趋势在一定的氮素营养水平范围内有一定的正相关趋势。即高效薏苡品种主要是前后期叶片叶绿素含量增加,从而减植株的衰老。汤利等^[17]研究表明,氮素可提高小麦生育后期的叶片光合速率,增加叶绿素含量和绿叶面积,减缓光合速率和叶绿素下降速度,延缓光合能力的下降^[18]。高效氮薏苡品种在后期叶绿素含量衰减慢从而延缓后期光合速率,进而使后期叶片的光合速率随着叶绿素含量的增加较低氮薏苡品种高。

氮高效薏苡品种的光合速率高,抽穗后光合速率衰减率低。叶绿素分子对光的吸收与传递起到重要作用,叶绿素分子接受光子后将引起原子结构内电子重新排列,低能电子获得能量后将被激发。叶绿素含量越高,吸收和传递的光子就越多,从而增加低能电子被激发为高能电子。聚光叶绿素将捕获到的光能传到反应中心色素分子,以推动光化学反应的进行^[19]。即叶绿素含量越多可使光反应进行越快。随着植株的衰老,叶绿素含量减少,光合速率降低。QY和XL为氮高效品种,各时期氮素吸收量和叶绿素含量较氮低效品种CU和LL高,因而其光合速率大,抽穗后光合速率衰减率较氮效率低品种小。氮素利用率与不同叶片光合速率和叶绿素荧光参数的关系不显著,研究结果表明,氮高效薏苡品种和氮低效薏苡品种倒三叶光合速率最大,即不同氮素利用率品种间不同叶片光合速率无差异。有研究表明,氮素营养对作物叶片光合色素的合成及叶绿素荧光动力学特性具有显著的调控作用^[20],但本研究氮高效薏苡品种西林1号(XL)和黔饮1号(QL)与氮低效薏苡品种隆林1号(LL)和品种10号(CU)间叶绿素荧光参数无显著差异。

4 结论

氮高效薏苡品种各生育期功能叶片的光合速率和叶绿素含量较高,其中后期光合速率及叶绿素含量衰减较慢。薏苡品种氮素利用效率与功能叶片的

叶绿素荧光参数及顶部4片功能叶光合速率的变化间没有表现出明显的关系。

参考文献 References

- [1] 杨继祥. 药用植物栽培学[M]. 中国农业出版社, 1993
Yang J X. *Medicinal Plant Cultivation* [M]. China Agricultural Press, 1993
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:2015年版. 二部[M]. 北京:中国医药科技出版社, 2015
National Pharmacopoeia Commission. *Pharmacopoeia of the People's Republic of China: 2015 Edition*[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2015
- [3] 林炎照. 不同种植密度和施肥水平对薏苡产量及构成因素的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6):217-221
Lin Y Z. Effects of different planting densities and fertilization levels on yield and components of coix[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(6):217-221
- [4] 李迪秦, 唐启源, 秦建权, 邓运波, 郑华英. 施氮量与氮管理模式对超级稻产量和辐射利用率影响[J]. 核农学报, 2010, 24(4):809-814
Li D T, Tang Q Y, Qin J Q, Deng Y B, Zheng H Y. Effect of nitrogen rate and nitrogen management on super rice yield and radiation utilization[J]. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2010, 24(4):809-814
- [5] 江立庚, 戴廷波, 韦善清, 甘秀芹, 徐建云. 南方水稻氮素吸收与利用效率的基因型差异及评价[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4):466-471
Jiang L G, Dai T B, Wei S Q, Gan X Q, Xun J Y. Genotypic difference and evaluation of nitrogen uptake and utilization efficiency in southern rice[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2003, 27(4):466-471
- [6] 李敏, 罗德强, 江学海, 周维佳, 姬广梅. 高产氮高效籼稻品种的光合生产特性[J]. 中国稻米, 2015, 21(4):65-67
Li M, Luo D Q, Jiang X H, Zhou W J, Ji G M. Photosynthetic characteristics of high yield nitrogen efficient indica rice[J]. *China Rice*, 2015, 21(4):65-67
- [7] 李敏, 张洪程, 杨雄, 葛梦婕, 魏海燕, 戴其根, 霍中洋, 许轲. 高产氮高效型粳稻品种的叶片光合及衰老特性研究[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(2):168-176
Li M, Zhang H C, Yang X, Ge M J, Wei H Y, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K. Study on photosynthesis and senescence of leaves of Japonica rice with high yielding nitrogen and high efficient type[J]. *Chinese Rice Science*, 2013, 27(2):168-176
- [8] 安久海, 刘晓龙, 徐晨, 崔菁菁, 徐克章, 凌凤楼, 张治安, 武志海. 氮高效水稻品种的光合生理特性[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2014, 42(12):29-38
An J H, Liu X L, Xu C, Cui J J, Xu K Z, Ling F L, Zhang Z A, Wu Z H. Photosynthetic and physiological characteristics of high nitrogen efficiency rice varieties[J]. *Journal of*

- Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2014, 42(12):29-38
- [9] Sharp R E, Matthews M A, Boyer J S K. Effect and the quantum yield of photosynthesis[J]. *Plant Physiology*, 1984, 75(1): 95-101
- [10] 钱茂翔, 李艾莲. 行距配置和种植密度对薏苡光合生理、籽粒灌浆及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(13):97-102
- Qian M X, Li A L. Effects of row spacing and planting density on photosynthetic physiology, grain filling and yield of coix[J], *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(13):97-102
- [11] 周陵波, 汪灿, 张国兵, 徐燕, 白俊霞, 吴兰英, 罗海, 邵明波. 硫酸钾复合肥和种植密度对薏苡光合特性、农艺性状及产量的影响[J]. 作物杂志, 2016(1):93-97
- Zhou L B, Wang C, Zhang G B, Xu Y, Bai J X, Wu L Y, Luo H Y, Shao M B. Effect of potassium sulfate compound fertilizer and planting density on photosynthetic characteristics, agronomic traits and yield of job's pears[J], *Crop Journal*, 2016(1):93-97
- [12] 杨念婉, 李艾莲, 陈彩霞. 种植密度和播期对薏苡产量的影响及相关性分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(13):149-152
- Yang N W, Li A L, Chen C X. Effect of planting density and sowing date on the yield of Coix lachryma-jobi and its correlation analysis[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(13):149-152
- [13] Nghiem C T, Jiang G L, Shen K F, Wang Z. Effect of dose fertilizer and cultivars to the active compound glyceryl trioleate of Coixlacrma-jobi l[J]. *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 2016, 38(3): 261-268
- [14] 杨杰. 基于叶片高光谱指数的水稻氮素及色素含量监测研究[D]. 南京:南京农业大学, 2009
- Yang J. Study on nitrogen and pigment contents monitoring based on leaf hyperspectral index in rice[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009
- [15] 潘薇薇. 应用叶绿素仪进行棉花氮素营养诊断[D] 石河子:石河子大学, 2008
- Pan W W. Applying chlorophyll meter to diagnose cotton nitrogen nutrition[D]. Shihezi: Shihezi University, 2008
- [16] 李勇. 氮素营养对水稻光合作用与光合氮素利用率的影响机制研究[D]. 南京:南京农业大学, 2011
- Li Y, Effects of nitrogen nutrition on photosynthesis and photosynthetic nitrogen use efficiency in rice [D] Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011
- [17] 冯伟, 李晓, 王永华, 王晨阳, 郭天财. 小麦叶绿素荧光参数叶位差异及其与植株氮含量的关系[J]. 作物学报, 2012, 38(4):657-664
- Feng W, Li X, Wang Y H, Wang C Y, Guo T C. Differences in leaf chlorophyll fluorescence parameters of wheat and its relationship with plant nitrogen content[J]. *Acta Agronomic Sinica*, 2012, 38(4):657-664
- [18] 汤利, 米国华, 张福锁. 氮素对籽粒形成期小麦光合能力的调控作用[J]. 中国农业大学学报, 1998, 13(s3):21-25
- Tang L, Mi G H, Zhang F S. Regulatory effect of nitrogen on photosynthesis of wheat in grain formation stage[J]. *Journal of China Agricultural University*, 1998, 13(s3):21-25
- [19] 江苏农学院. 植物生理学[M]. 北京:农业出版社, 1986
- Jiangsu Agricultural College. *Plant physiology* [M]. Beijing: Agricultural Press, 1986
- [20] Richardson M, Cabrera R, Murphy J, Zaurov. D. Nitrogen^a form and endophyte^a. Infection effects on growth, nitrogen uptake, and alkaloid content of chewings fescue turf grass [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1999, 22(1):67-79

责任编辑:吕晓梅