

网络出版时间:2012-04-16 15:34

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120416.1534.004.html>

吉林省不同年代水稻品种叶片硝酸还原酶的活性变化研究

崔菁菁^{a,b}, 邸玉婷^b, 徐克章^b, 张治安^b, 肖金川^b, 李鑫^c

(吉林农业大学 a 园艺学院, b 农学院, c 中药材学院, 吉林 长春 130118)

【摘要】【目的】了解不同年代育成水稻品种叶片硝酸还原酶活性(Nitrate reductase activity, NRA)的变化及其与净光合速率(P_n)和产量的关系,为吉林省水稻高产育种和栽培提供理论依据。【方法】以吉林省1958至2005年育成并在生产上推广的18个水稻品种为材料,研究水稻植株剑叶NRA变化及其与净光合速率和产量的关系。【结果】水稻叶片NRA在孕穗期较低,抽穗期最大,此后呈下降变化;NRA随品种的育成年代推进而降低。不同生育期水稻剑叶 P_n 在抽穗期达到最大,此后不断下降;随着育成年代的推进, P_n 逐渐上升。NRA与净光合速率呈负相关,但不显著,与水稻产量呈显著负相关。【结论】水稻品种遗传改良提高了叶片的光合作用和产量,但NRA却随品种的育成年代推进而降低,这可能也是水稻氮肥利用效率降低的原因。

【关键词】 水稻;遗传改良;硝酸还原酶;产量;光合作用

【中图分类号】 S511.01

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)05-0081-06

Changes in nitrate reductase activity of rice cultivars with different released years in Jilin province

CUI Jing-jing^{a,b}, DI Yu-ting^b, XU Ke-zhang^b,
ZHANG Zhi-an^b, XIAO Jin-chuan^b, LI Xin^c

(a College of Horticulture, b College of Agronomy, c College of Chinese Medicinal Materials,
Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: 【Objective】The study was conducted to understand the changes in nitrate reductase activity (NRA) and its relationship between yield and photosynthesis of rice varieties bred in different times, and to provide a theoretical basis for high-yield rice breeding and cultivation of Jilin province. 【Method】In this study, the samples of 18 rice varieties bred and extended for production in Jilin province from 1958 to 2005 were used to detect the levels of rice flag leaf NRA and its relationship with flag leaf net photosynthetic rate (P_n) and yield relation. 【Result】Rice leaf NRA was lower in booting stage, and highest in heading stage, then showed a decrease trend; NRA decreased in the course of the breeding years. The net P_n of different rice varieties was highest in heading stage, and then decreased; the net P_n increased in the course of the breeding year. NRA was negatively correlated with the net P_n ($P > 0.05$) and the rice yield ($P < 0.05$). 【Conclusion】Genetic improvement of rice varieties improved the photosynthesis and yield of the leaves, but NRA decreased in the course of the breeding year, which may lead to the decrease of rice nitrogen use effi-

* [收稿日期] 2011-12-10

[基金项目] 国家自然科学基金项目(31171478);吉林省科技厅重点支持项目(20080201)

[作者简介] 崔菁菁(1983—),女,吉林白山人,在读硕士,主要从事植物生理研究。E-mail:jj_cui@126.com

[通信作者] 徐克章(1954—),男,山东五莲人,教授,博士生导师,主要从事植物光合作用与物质生产研究。

E-mail:kzx0708@yahoo.com.cn

ciency.

Key words: rice; genetic improvement; nitrate reductase; yield; photosynthesis

硝酸还原酶(Nitrate reductase, NR)是硝态氮同化过程中的第 1 个关键酶,也是植物氮代谢中的关键酶,在植物生长发育过程中具有重要作用,其活性高低可以反映植株的氮素营养状况和氮代谢水平。20 世纪 50 年代以来,许多学者对硝酸还原酶活性(Nitrate reductase activity, NRA)与氮吸收、同化、分配、积累、转移和再分配间的关系进行了研究,并尝试以 NRA 作为育种工作中改良氮吸收、利用和转移效率的选择指标。NR 也常被用作品种选育和营养诊断的重要生理指标^[1-3]。黄瑞冬等^[4]报道,高粱在整个生长季节中,开花期叶片 NRA 高于灌浆期;生育中后期叶片 NRA 和含氮量高,有利于高粱穗粒数的增加和籽粒产量的形成。郭战玲等^[5]发现, NRA 与籽粒产量和蛋白质含量密切相关,并提议用 NR 作为预测籽粒产量和蛋白质含量的指标。赵宏伟等^[6]以玉米四单 19 为材料,发现 NRA 在整个生育期内呈单峰曲线变化,且以孕穗期最高。赵洪祥等^[7]对大豆的研究表明,大豆叶片的 NRA 随品种育成年代的推进而增加。与大豆和小麦等其他 C₃ 作物相比,水稻的氮素利用效率较高,这是因为水稻体内的含氮率低;另外,玉米、小麦等以吸收硝态氮为主,而水稻以吸收铵态氮为主,因此它们对氮肥的利用效率有明显差异^[8]。水稻品种间的氮肥利用效率也存在显著差异,并与产量密切相关^[9-10]。李

豪哲等^[11]认为,北方粳稻的 NRA 水平与品种耐肥性之间存在着负相关关系,可以将 NRA 作为筛选品种耐肥性的指标。

杨建昌^[12]等研究表明,随着品种不断改良,水稻的农艺、生理性状均发生了明显的变化。邸玉婷等^[13]研究说明,在吉林省 47 年的水稻品种遗传改良过程中,水稻单位面积生物量不断增加,产量提高。姜楠等^[14]和武志海等^[15]研究表明,随着水稻品种育成年代的推进,叶片净光合速率(*Pn*)增加,产量提高。水稻叶片是水稻硝酸盐同化还原的最主要部位,因此功能叶的 NRA 即可以代表水稻体内的 NR 水平^[16]。但关于水稻品种改良过程中 NRA 的变化及其与光合速率和产量的关系尚未见报道。为此,本研究以吉林省 1958—2005 年间育成的 18 个水稻品种为试材,比较吉林省不同年代育成的水稻品种的硝酸还原酶活性(NRA),分析其与光合速率和产量的关系,以期对吉林省水稻高产或超高产育种和栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试材料为吉林省 1958—2005 年间育成的 18 个水稻主推品种(表 1),由吉林省农业科学院水稻研究所和吉林农业大学水稻研究所提供。

表 1 供试水稻品种的基本情况

Table 1 Main information of tested rice cultivars

品种 Cultivar	育成年份 Release year	生育期/d Growth duration	品种 Cultivar	育成年份 Release year	生育期/d Growth duration
松辽 1 号 Songliao 1	1958	130	吉粳 61 Jijing 61	1983	132
长白 1 号 Changbai 1	1959	125	吉 89-45 Ji 89-45	1984	130
松辽 2 号 Songliao 2	1959	125	吉粳 62 Jijing 62	1987	137
吉粳 44 Jijing 44	1967	135	通 35 Tong 35	1995	136
吉粳 51 Jijing 51	1967	140	吉粳 66 Jijing 66	1997	140
吉粳 53 Jijing 53	1967	125	农大 8 号 Nongda 8	1998	143
吉粳 60 Jijing 60	1973	135	长白 11 号 Changbai 11	2002	133
九稻 1 号 Jiudao 1	1974	135	吉粳 88 Jijing 88	2004	143
九稻 5 号 Jiudao 5	1975	138	通粳 791 Tongjing 791	2005	139

1.2 方 法

试验于 2009 和 2010 年在长春市(43°53'N, 125°10'E)吉林农业大学水稻研究所试验田中进行。试验田耕作层有机质含量 22.1 g/kg,有效氮 147 mg/kg,速效磷 19 mg/kg,速效钾 75 mg/kg。2009-04-04 浸种,04-11 催芽,催芽温度 25~30 ℃,04-13 下午播种;2010-04-06 浸种,04-13 催芽,催芽温度

25~30 ℃,04-15 下午播种,秧田土均为旱田表土与腐熟牛粪(二者质量比 4 : 1),外加专用育秧营养土。采用大棚营养土育秧,2009 年于 05-23 插秧;2010 年于 05-25 插秧,株行距均为 15 cm×30 cm,单株插秧。随机区组排列,3 次重复,每个小区行长 2 m,5 行区。氮肥为尿素,总施 N 量折合纯氮 140 kg/hm²;磷酸二铵作磷肥,总施 P 量折合纯磷 70

kg/hm²;硫酸钾作钾肥,总施 K 量折合纯钾 70 kg/hm²。其中氮肥的 50%和全部磷钾肥作基肥,其余氮肥按蘖肥(06-10)30%、穗肥(07-10)20%施用。全生育期按常规栽培技术管理。

在水稻孕穗期、抽穗期、抽穗后 10 d、抽穗后 20 d、抽穗后 30 d,分别取剑叶测定叶片硝酸还原酶活性和净光合速率。硝酸还原酶活性(NRA)的测定采用磺胺比色法^[17];用 Li-6400 型便携式光合作用系统测定净光合速率(*Pn*)。

2009 年于 09-25 收获,2010 年于 09-28 收获,以中间 3 行、且去除每行两端各 50 cm 的水稻籽粒产量为小区产量。风干后统一脱粒,含水量低于 15% 时,根据小区产量计算产量。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 和 DPS 9.5 数据系统对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同年代育成水稻品种叶片 NRA 的变化

图 1 反映了不同生育期水稻剑叶 NRA 的变化。由图 1 可以看出,水稻剑叶 NRA 在孕穗期较低,抽穗期达最大,此后随着生育期的推进呈下降趋势。从不同年代水稻品种 NRA 的变化来看(表 2),20 世纪 60 年代以后,由于化肥使用越来越普遍,因此 NRA 随着水稻品种育成年代的推进显著降低。

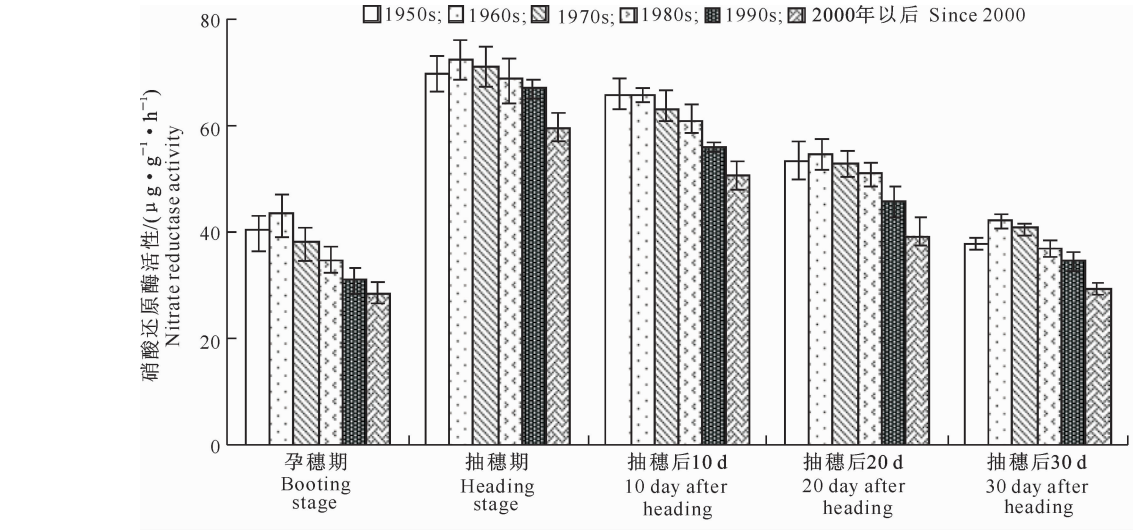


图 1 不同年代育成水稻品种各生育期叶片硝酸还原酶活性的变化动态

Fig. 1 Dynamic changes of NRA in leaves of rice cultivars in different breeding years and different growing stages

表 2 不同水稻品种叶片硝酸还原酶活性与育成年代的关系

Table 2 Relationship between leaf NRA of different rice varieties and breeding years

发育时期 Growth stage	与育成年代的回归方程 Regression equation with released years			相关系数(<i>r</i>) Coefficient		
	2009	2010	平均 Mean	2009	2010	平均 Mean
孕穗期 Booting stage	$y = -0.353\ 6x + 746.34$	$y = -0.233\ 3x + 494.41$	$y = -0.293\ 5x + 620.37$	-0.71**	-0.52*	-0.74**
抽穗期 Heading stage	$y = -0.247\ 6x + 568.01$	$y = -0.351\ 4x + 755.91$	$y = -0.299\ 5x + 661.96$	-0.60**	-0.71**	-0.81**
抽穗后 10 d 10 day after heading	$y = -0.446\ 3x + 950.24$	$y = -0.281\ 2x + 611.96$	$y = -0.363\ 7x + 781.10$	-0.82**	-0.48*	-0.72**
抽穗后 20 d 20 day after heading	$y = -0.290\ 2x + 630.26$	$y = -0.434\ 2x + 904.56$	$y = -0.362\ 2x + 767.41$	-0.45	-0.69**	-0.64**
抽穗后 30 d 30 day after heading	$y = -0.382\ 3x + 797.06$	$y = -0.246\ 5x + 524.45$	$y = -0.314\ 4x + 660.76$	-0.69**	-0.52*	-0.80**

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。表 3 同。

Note: * Significant at $P < 0.05$, ** Significant at $P < 0.01$. The same as table 3.

2.2 不同年代育成水稻品种叶片 *Pn* 的变化

图 2 反映了不同生育期水稻剑叶 *Pn* 的变化。由图 2 可以看出,水稻剑叶的 *Pn* 在孕穗期较低,抽

穗期最高,此后随着生育期的推进逐渐下降,在抽穗后 30 d, *Pn* 达到最低。从不同年代水稻品种 *Pn* 的变化来看,随着育成年代的推进, *Pn* 逐渐升高。

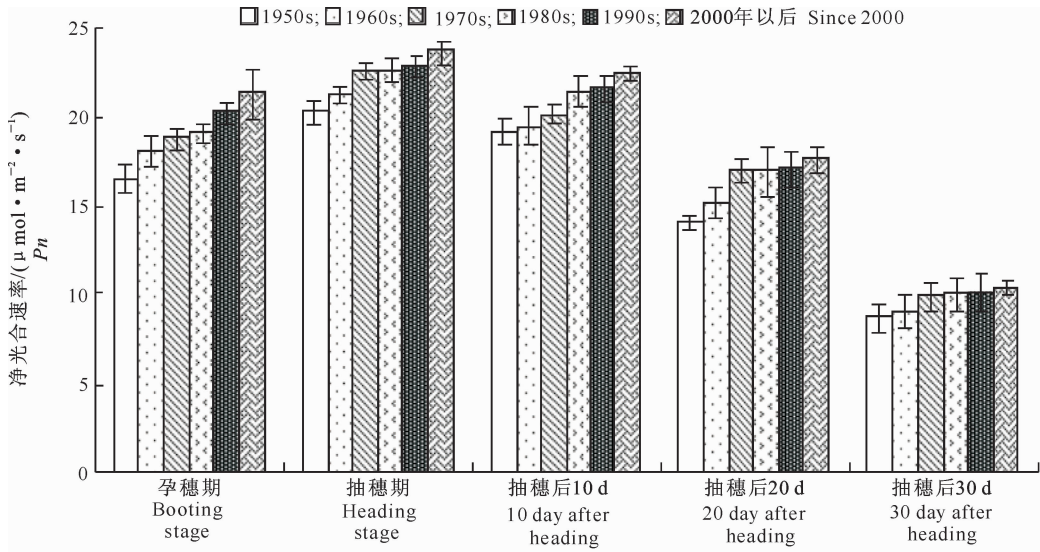


图 2 不同年代育成水稻品种各生育期叶片净光合速率的变化
Fig.2 Changes of net photosynthetic rate in leaves of rice cultivars
in different growth stages breeding in different years

2.3 不同年代育成水稻品种叶片 NRA 与 P_n 、产量的关系

对 不 同 年 代 水 稻 品 种 NRA 与 净 光 合 速 率 和 产 量 的 关 系 进 行 分 析 , 结 果 表 明 (表 3) , NRA 与 净 光 合 速 率 呈 负 相 关 , 但 不 显 著 ; 但 NRA 与 水 稻 产 量 呈 显 著 负 相 关 。

表 3 不同年代育成水稻品种叶片硝酸还原酶活性与净光合速率和产量的关系
Table 3 Relationship of leaf nitrate reductase activity with flag leaf net photosynthetic
rate and yield in different rice varieties

	发育时期 Growth stage	回归方程 Regression equation			相关系数(r) Coefficient		
		2009	2010	平均 Mean	2009	2010	平均 Mean
净光合 速率 P_n	孕穗期 Booting stage	$y=-0.180\ 2x+29.561$	$y=-0.129\ 3x+25.453$	$y=-0.209\ 9x+29.489$	-0.45	-0.26	-0.42
	抽穗期 Heading stage	$y=-0.045\ 1x+25.766$	$y=-0.023\ 6x+23.68$	$y=-0.044\ 9x+25.349$	-0.13	-0.09	-0.12
	抽穗后 10 d 10 day after heading	$y=-0.036\ 8x+23.078$	$y=-0.020\ 6x+21.769$	$y=-0.035\ 4x+22.783$	-0.14	-0.08	-0.12
	抽穗后 20 d 20 day after heading	$y=-0.031\ 1x+18.485$	$y=-0.017\ 3x+17.533$	$y=-0.030\ 2x+18.27$	-0.20	-0.11	-0.17
	抽穗后 30 d 30 day after heading	$y=-0.036\ 8x+10.727$	$y=-0.010\ 3x+9.594$	$y=-0.037\ 3x+10.68$	-0.31	-0.07	-0.22
产量 Yield	孕穗期 Booting stage	$y=-236.40x+22\ 871$	$y=-276.16x+20\ 915$	$y=-331.43x+24\ 968$	-0.56*	-0.53*	-0.62**
	抽穗期 Heading stage	$y=-208.34x+28\ 151$	$y=-218.57x+24\ 897$	$y=-290.94x+31\ 858$	-0.38	0.47*	-0.50*
	抽穗后 10 d 10 day after heading	$y=-224.28x+26\ 881$	$y=-128.22x+19065$	$y=-217.50x+25\ 205$	-0.58**	-0.36	-0.52*
	抽穗后 20 d 20 day after heading	$y=-142.52x+19\ 909$	$y=-136.76x+18\ 100$	$y=-173.42x+20\ 677$	-0.43	-0.41	-0.47*
	抽穗后 30 d 30 day after heading	$y=-204.03x+20\ 113$	$y=-254.95x+21\ 225$	$y=-394.24x+26\ 964$	-0.54*	-0.58**	-0.74**

3 讨 论

洪剑明等^[3]对小麦叶片 NRA 的研究发现,小麦在拔节期 NRA 迅速上升,开花前后达到最大值;赵洪祥等^[7]认为,大豆叶片 NRA 在第 4 节期较低,在盛花期达到最大,此后呈下降趋势。本研究结果表明,不同生育期水稻剑叶 NRA 在孕穗期较低,抽穗期最大,这可能与抽穗期水稻发育旺盛有关,此后随着生育期的推进不断下降,水稻生育期内 NRA

呈单峰曲线变化。

李雪梅等^[18]认为,NRA 与叶片中的硝态氮含量呈正相关。魏海燕等^[10]的研究结果表明,水稻剑叶的光合生理性状不仅存在显著的基因型差异,同时与水稻的氮肥利用效率、结实性(结实率和千粒质量)有着密切的相互关系。张焕军等^[19]研究表明,NRA 在拔节期与小麦产量呈显著相关,但在分蘖期和开花期相关性不显著。本研究结果则表明,NRA 与剑叶 P_n 呈负相关,但未达到显著水平,但与产量

呈显著负相关。

林振武等^[16]对不同耐肥性的水稻 NRA 分析表明,耐肥弱的品种 NRA 高,其对硝态氮的吸收同化能力强。黄高宝等^[20]研究得出,在同一供氮水平下,不同玉米品种间的 NRA 差异明显。前人的研究表明,NRA 与作物的耐肥性呈负相关,NRA 低的品种一般其氮肥利用效率较低^[21-22],可见,氮肥的利用效率与 NRA 密切相关。本研究结果表明,随着水稻品种的遗传改良,NRA 随育成年代的推进而降低。这种变化可能与不同年代水稻施肥种类变化有关。20 世纪 50 年代,我国水稻大多施用农家肥,60 至 80 年代,我国水稻大多施用化肥硝酸铵,80 年代末开始使用尿素,导致 20 世纪 60 至 80 年代育成水稻品种 NRA 高于 50 年代和 80 年代以后的品种。

4 结 论

本研究结果表明,不同生育期水稻剑叶 NRA 在孕穗期较低,抽穗期最大,此后随着生育期的推进呈下降趋势。由于 20 世纪 60 年代之后,我国水稻的施肥种类发生变化,导致 60 年代水稻 NRA 高于 50 年代。水稻剑叶 P_n 在孕穗期较低,抽穗期最大,此后随着生育期的推进呈下降变化,至成熟期达最低;水稻剑叶 P_n 随育成年代推进呈上升变化。水稻品种 NRA 活性与育成年代呈显著负相关;与 P_n 呈负相关,但不显著;与产量呈显著负相关。可见,水稻品种遗传改良提高了叶片的光合作用和产量,但 NRA 却下降,这可能也是水稻氮肥利用效率降低的原因。

[参考文献]

- [1] Kaiser W M, Huber S C. Post-translational regulation of nitrate reductase: Mechanism, physiological relevance and environmental triggers [J]. Journal of Experimental Botany, 2001, 52 (363): 1981-1989.
- [2] Mertens J A, Shiraishi N, Campbell W H. Recombinant expression of molybdenum reductase fragments of plant nitrate reductase at high levels in *Pichia pastoris* [J]. Plant Physiology, 2000, 123(2): 743-756.
- [3] 洪剑明, 柴小清, 曾晓光, 等. 小麦硝酸还原酶活性与营养诊断和品种选育研究 [J]. 作物学报, 1996, 22(5): 633-638.
Hong J M, Chai X Q, Zeng X G, et al. Study on nitrate reductase activity between nutrition diagnosis and variety breeding of wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 1996, 22(5): 633-638. (in Chinese)
- [4] 黄瑞冬, 阚 魏, 蒋文春. 高粱叶片硝酸还原酶活性及含氮量与产量相关性分析 [J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(5): 611-614.
Huang R D, Kan W, Jiang W C. Correlation between nitrate reductase activities, nitrogen content in leaves and yield in sorghum [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2008, 39(5): 611-614. (in Chinese)
- [5] 郭战玲, 沈阿林, 寇长林, 等. 不同小麦品种开花后硝酸还原酶活性与氮效率的关系 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(5): 219-223.
Guo Z L, Shen A L, Kou C L, et al. The relationship between NRA and nitrogen efficiency of different wheat varieties after flowering [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(5): 219-223. (in Chinese)
- [6] 赵宏伟, 马凤鸣, 李文华. 氮肥施用量对春玉米硝酸还原酶活性及产量的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(3): 276-281.
Zhao H W, Ma F M, Li W H. Study on the effects of quantity of nitrogen on the activity of nitric-revivification enzyme, yield and quality of spring maize [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004, 35(3): 276-281. (in Chinese)
- [7] 赵洪祥, 徐克章, 李大勇, 等. 吉林省不同年代育成大豆品种硝酸还原酶活性变化及其与产量的关系 [J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(2): 13-17.
Zhao H X, Xu K Z, Li D Y, et al. Studies on nitrate reductase activity and the relationship with yield in leaves of the soybean cultivars released in Jilin Province at different ages [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2007, 30(2): 13-17. (in Chinese)
- [8] 江立庚. 水稻品种氮素吸收利用效率的生理生态特征及调控研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2003.
Jiang L G. Eco-physiological characteristics and regulation of nitrogen uptake and utilization efficiency in different rice genotypes [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2003. (in Chinese)
- [9] 殷春渊, 张 庆, 魏海燕, 等. 不同产量类型水稻基因型氮素吸收、利用效率的差异 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(1): 39-50.
Yin C Y, Zhang Q, Wei H Y, et al. Differences in nitrogen absorption and use efficiency in rice genotypes with different yield performance [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(1): 39-50. (in Chinese)
- [10] 魏海燕, 张洪程, 马 群, 等. 不同氮肥利用效率水稻基因型剑叶光合特性 [J]. 作物学报, 2009, 35(12): 2243-2251.
Wei H Y, Zhang H C, Ma Q, et al. Photosynthetic characteristics of flag leaf in rice genotypes with different nitrogen use efficiencies [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(12): 2243-2251. (in Chinese)
- [11] 李豪哲, 崔雄范, 崔明子, 等. 硝酸还原酶活力与作物耐肥性的研究: Ⅲ. 北方粳稻品种演变过程中硝酸还原酶活力与品种性状之间的关系 [J]. 作物学报, 1988, 14(2): 163-166.
Li H Z, Cui X F, Cui M Z, et al. Studies on nitrate reductase activity and nitrogen response in crop plants: Ⅲ. The relation of nitrate reductase activity with characters of cultivar in the succession of rice cultivated in northern China [J]. Acta Agronomica Sinica, 1988, 14(2): 163-166. (in Chinese)
- [12] 杨建昌, 王 朋, 刘立军, 等. 中籼水稻品种产量与株型演进特

- 征研究 [J]. 作物学报, 2006, 32(7): 949-955.
- Yang J C, Wang P, Liu L J, et al. Evolution characteristics of grain yield and plant type for mid-season indica rice cultivars [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(7): 949-955. (in Chinese)
- [13] 邸玉婷, 赵国臣, 徐克章, 等. 吉林省 47 年水稻品种遗传改良过程中植株各器官生物量的变化 [J]. 中国水稻科学, 2010, 24(3): 251-256.
- Di Y T, Zhao G C, Xu K Z, et al. Changes in organ biomass in rice cultivars released by Jilin province, China during forty-seven years of genetic improvement [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2010, 24(3): 251-256. (in Chinese)
- [14] 姜楠, 邸玉婷, 徐克章, 等. 吉林省不同年代育成水稻品种上三叶光合特性的变化 [J]. 作物学报, 2011, 37(4): 703-710.
- Jiang N, Di Y T, Xu K Z, et al. Changes of photosynthetic characteristics in top three leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars released in different years in Jilin province [J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(4): 703-710. (in Chinese)
- [15] 武志海, 赵国臣, 徐克章, 等. 吉林省过去 47 年来水稻品种遗传改良过程中叶片光合指标的变化 [J]. 中国水稻科学, 2009, 23(2): 165-171.
- Wu Z H, Zhao G C, Xu K Z, et al. Changes in photosynthetic indexes of rice varieties during forty-seven years of genetic improvement in Jilin province [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2009, 23(2): 165-171. (in Chinese)
- [16] 林振武, 汤玉玮. 水稻硝酸还原酶活力的调节 [J]. 中国科学: B 辑, 1989(4): 379-385.
- Lin Z W, Tang Y W. Rice nitrate reductase activity regulation [J]. Science in China: Ser. B, 1989(4): 379-385. (in Chinese)
- [17] 张治安, 张美善, 蔚荣海. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004: 30-32, 43-45, 75-76.
- Zhang Z A, Zhang M S, Yu R H. Experimental guide of plant physiology [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2004: 30-32, 43-45, 75-76. (in Chinese)
- [18] 李雪梅, 朱长普, 苗以农. 大豆植物发育过程中不同部位的硝态氮含量和硝酸还原酶活力变化 [J]. 植物生理学通讯, 1993, 29(4): 263-265.
- Li X M, Zhu C P, Miao Y N. Changes of NO_3^- -N and activity of nitrate reductase in different parts of soybean during plant development [J]. Plant Physiology Communications, 1993, 29(4): 263-265. (in Chinese)
- [19] 张焕军, 郁红艳, 项剑, 等. 氮磷用量对豫北地区小麦产量的交互效应研究 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 11(6): 1163-1169.
- Zhang H J, Yu H Y, Xiang J, et al. Interactive influence of nitrogen and phosphorus application rate on wheat yield in North Henan, China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 11(6): 1163-1169. (in Chinese)
- [20] 黄高宝, 张恩和, 胡恒觉. 不同玉米品种氮素营养效率差异的生态生理机制 [J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 293-297.
- Huang G B, Zhang E H, Hu H J. Eco-physiological mechanism on nitrogen use efficiency difference of corn varieties [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(3): 293-297. (in Chinese)
- [21] 汤玉玮, 林振武, 陈敬祥. 硝酸还原酶活力与作物耐肥性的相关性及其在生化育种上应用的探讨 [J]. 中国农业科学, 1985(6): 39-45.
- Tang Y W, Lin Z W, Chen J X. Study on the correlation nitrate reductase activity and nitrogen response in crop plant its application in biochemical plant breeding [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1985(6): 39-45. (in Chinese)
- [22] 李文才, 林振武, 汤玉玮. 硝酸还原酶的研究: Ⅷ. 棉花不同品种的硝酸还原酶活力 [J]. 作物学报, 1986, 12(2): 95-100.
- Li W C, Lin Z W, Tang Y W. Studies on nitrate reductase: Ⅷ. Nitrate reductase activity in different cotton cultivars [J]. Acta Agronomica Sinica, 1986, 12(2): 95-100. (in Chinese)