

节水灌溉条件下饲料稻不同施氮水平 碳代谢关键酶活性及产量表现

谢桂先, 刘 强, 荣湘民, 宋海星, 彭建伟, 朱红梅

(湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 节水条件下, 采用田间小区试验研究“氮中量施肥法”(N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 190, 90, 100 kg/hm²)、“氮高量施肥法”(N、P₂O₅、K₂O 为 210, 90, 100 kg/hm²)、“氮低量施肥法”(N、P₂O₅、K₂O 为 170, 90, 100 kg/hm²)对饲料稻威优 198 蔗糖磷酸合成酶(SPS)、蔗糖合成酶(SUS)、腺苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶(ADPase)活性、光合特性以及产量的影响。结果表明, 氮中量施肥法处理水稻旗叶和籽粒中的 SPS、SUS、ADPase 活性较高; 旗叶净光合作用速率较快; 叶和籽粒中蔗糖含量较高, 蔗糖转化成淀粉的能力较强。氮中量施肥法处理能显著增加水稻的有效穗和籽粒产量, 有效穗分别比氮高量栽培法和氮低量施肥法提高了 7.70% 和 10.32%, 籽粒产量分别比氮高量栽培法和氮低量施肥法提高了 12.02% 和 8.47%。

关键词: 水稻; 蔗糖磷酸合成酶; 蔗糖合成酶; 腺苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶; 光合作用; 产量

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)05-0036-05

干旱胁迫是影响水稻产量和品质的主要环境因子, 因干旱造成水稻歉收已经成为生产中的一个突出问题。我国南方水稻主产区水稻的灌溉用水量占总灌溉用水量的 90% 以上, 虽然南方降水及水资源比北方丰富, 但由于降水在年际、特别是年内分布极不均匀, 水资源在地区间的分布亦不均匀, 加之工业、城镇及乡村生活用水的急剧增长, 水稻缺水问题也日益突出。氮素影响作物各种生理代谢的正常进行和代谢物的合理分配以及生长发育, 也是水稻管理中需求量大而又较难控制的营养元素^[1]。近年来水稻生产上大量使用氮肥引起的氮肥利用率低、资源浪费大、环境污染严重的现状已经引起了人们的普遍关注^[2]。饲料稻是指单产高、出糙率高、粗蛋白含量高的水稻品种, 它生育期抗性强。饲料稻主要的用途是作为饲料工业的原料, 近年来, 湖南、江西、湖北等地的研究与实践表明, 饲料稻糙米完全可以取代玉米而成为南方饲料工业饲料粮的主要来源^[3,4]。1998 年湖南省种植代替玉米饲料原料的高蛋白质饲料稻面积 30 万 hm² 以上, 产量达 288 万 t, 替代省内玉米饲料原料的 45% 以上, 在国家粮食丰产科技工程项目(2004BA520A01)和湖南省有关部门的大力支持下, 湖南省饲料稻面积逐年增加。饲料稻与一般的杂交稻相比有着不一样的营养特性, 在当前的饲料稻生产中主要采用三壮三高施肥

法, 但施氮量较高, 达 225 kg/hm², 远远超过了水稻一般栽培的 150~180 kg/hm² 施氮量, 且施肥方法也欠合理^[5], 因此, 降低氮肥施用量是饲料稻生产中亟待解决的问题。笔者在前期所进行的不同时期不同施氮量对饲料稻糙米蛋白质积累影响研究工作的基础上^[6], 进一步研究了节水灌溉条件下施氮量对饲料稻威优 198 几种碳代谢关键酶活性以及产量的影响, 目的在于寻求节水灌溉条件下饲料稻高产的合适氮肥用量, 为饲料稻在湖南甚至在整个华南地区节水减氮栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试水稻品种为饲料稻威优 198, 试验于 2003 年在湖南农业大学教学实验场进行, 其水田土壤基本理化性状为有机质 24.80 g/kg, 全氮 1.79 g/kg, 碱解氮 127.10 mg/kg, 全磷 1.26 g/kg, 速效磷 6.32 mg/kg, 全钾 15.90 g/kg, 速效钾 51.00 mg/kg, 缓效钾 413.80 mg/kg。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验共设 3 种处理, 即: ① 氮中量施肥法(N:P₂O₅:K₂O 比率为 190:90:100 kg/hm²); ② 氮高量施肥法(N:P₂O₅:K₂O 比率为 210:90:100 kg/hm²); ③ 氮低量施肥法(N:P₂O₅:K₂O

收稿日期: 2008-03-26

基金项目: 国家十五攻关项目子专题(2001BA507A)

作者简介: 谢桂先(1979—), 男, 湖南冷水江人, 讲师, 主要从事植物营养生理研究。E-mail: xieguxian@yahoo.com.cn。

比率为170:90:100 kg/hm²)。每个处理重复3次,随机区组排列,共12个小区,每小区面积20 m²。大田栽植密度为16.7 cm×20.0 cm,每穴2苗。试验品种经浸种后于6月22日播种,7月17日移至大田,10月18日收获。

1.2.2 水肥管理 秧田管理,采用“半旱育秧法”,秧苗2.1叶期施187.5 kg/hm²半旱育壮秧剂(尿素:碳酸二氢钾:氯化钾:钙镁磷肥=7.5:1:1.5:2.5),施后灌水于厢面。播种后以厢沟有水,厢面湿润为主,移栽前7 d浅水于厢面,且保持浅水至移栽;大田管理,施菜饼肥750 kg/hm²作基肥,化肥的施用量按试验设计方案进行。氮肥采用尿素,按基肥:分蘖肥:穗肥:粒肥=3.64:2.73:2.73:0.91的比例施用;磷肥采用钙镁磷肥一次性作基肥施用;钾肥用氯化钾,60%作基肥,20%作分蘖肥,20%作孕穗肥;施分蘖肥同时施300 kg/hm²的硅锰肥。施肥后灌水,以水带肥入泥。返青期保持浅水3~4 cm,以后保持浅水与湿润相间灌溉,促进分蘖,达到所需有效苗数的90%开始晒田,此外,孕穗期和灌浆成熟期也以湿润和浅水相间灌溉。

1.3 采样、测定项目及方法

每小区随机采取5株水稻,分别在齐穗期、乳熟期和黄熟期分别测定剑叶和籽粒中蔗糖磷酸合成酶(SPS)和蔗糖合成酶(SUS)活性及,分别在齐穗期、乳熟期和黄熟期测定剑叶中腺苷二磷酸焦磷酸化酶(ADPase)活性及籽粒中淀粉含量,分别在孕穗期、齐穗期和乳熟期测定剑叶绿素含量和净光合速率,分别在分蘖期、孕穗期、齐穗期、乳熟期和黄熟期

测定剑叶和籽粒中蔗糖含量,水稻收割后每小区考种测产。

蔗糖磷酸合成酶(SPS)和蔗糖合成酶(SUS)的提取和活性测定参照《现代植物生理学实验指南》^[7]。SPS和SUS活力活性均以1 h内反应生成1 mg蔗糖所需要的酶量作为1个酶活性单位(U)。腺苷二磷酸焦磷酸化酶(ADPase)的提取和活性的测定参照李永庚等的方法测定^[8]。ADPase活性以1 h内反应生成1 mg 1-磷酸葡萄糖所需要的酶量作为1个酶活性单位(U)。光合作用采用LI-6400型光合测定系统测定,每小区测定5次重复,取平均值。叶绿素、蔗糖和淀粉含量的测定参照《现代植物生理学实验指南》^[7]。在收获期,每个小区割200兜,脱粒晒干,计算每个小区的产量,把每个小区的产量折算成每公顷的产量,每个小区另割5兜考种。

2 结果与分析

2.1 碳代谢关键酶活性比较

2.1.1 蔗糖磷酸合成酶(PS)活性 从图1A可以看出,各处理水稻旗叶SPS活性在齐穗期、乳熟期和黄熟期差异较大。在齐穗期,氮中量施肥法处理水稻旗叶酶活性分别比氮高量施肥法、氮低量施肥法处理提高了13.60%、8.82%;乳熟期分别提高了7.91%、15.73%;黄熟期分别提高了22.32%、8.40%。从图1B可以看出,不同施氮量各处理水稻籽粒SPS活性在乳熟期差异最大。在乳熟期,以氮中量施肥法籽粒酶活性最高,分别比氮高量施肥法、氮低量施肥法处理提高了25.53%、9.20%。

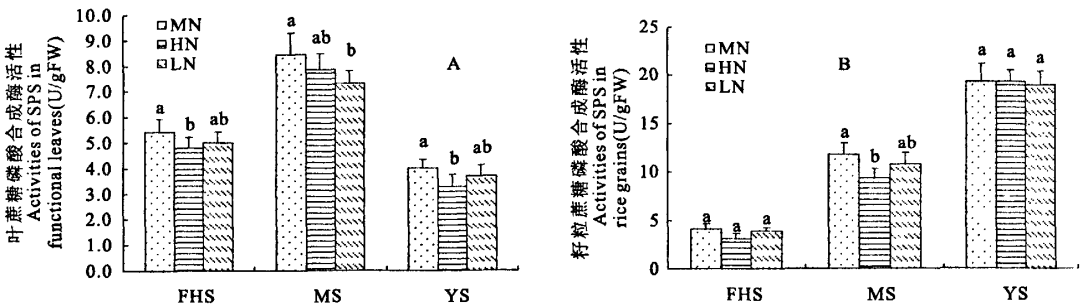


图1 不同施氮量对饲料稻旗叶(A)、籽粒(B)SPS活性的影响

Fig.1 Effects of different nitrogen fertilizer ratio on activities of SPS in flag leaves (A) and grains (B) of forage rice

注:MN-氮中量施肥法,HN-氮高量施肥法,LN-氮低量施肥法,FHS-齐穗期,MS-乳熟期,YS-黄熟期;同一生育期不同小写字母表示差异达5%显著水平,下同。

Note: MN - medium nitrogen ratio fertilizer method, HN - high nitrogen ratio fertilizer method, LN - low nitrogen ratio fertilizer method, FHS - full heading stage, MS - milk stage, YS - yellow ripe stage; Different small letters in same stage mean significant at 0.05 level. Means + SD were showed for 3 replicates. The same symbols are used for other figures and tables.

2.1.2 蔗糖合成酶(SUS)活性 从图 2 可以看出,不同施氮量各处理旗叶和籽粒 SUS 活性在黄熟期差异最大,氮中量施肥法和氮高量施肥法处理旗叶酶活性分别比氮低量施肥法处理提高了 37.27%、

32.30%;氮中量施肥法和氮高量施肥法处理籽粒酶活性分别比氮低量施肥法处理提高 22.56%、23.46%。

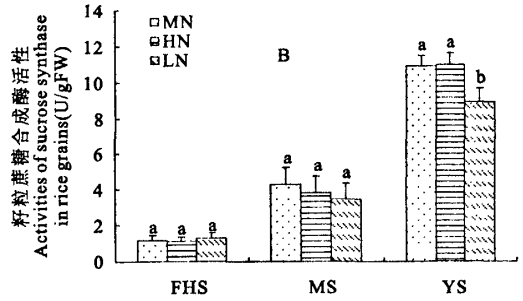
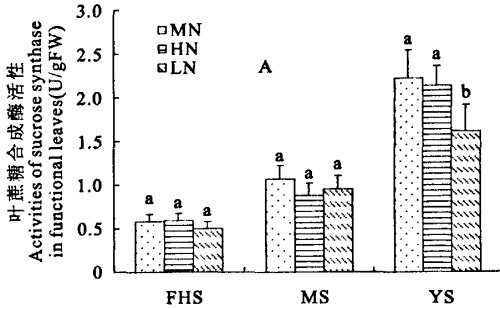


图 2 不同施氮量对饲料稻旗叶(A)、籽粒(B)SUS活性的影响

Fig. 2 Effects of different nitrogen fertilizer ratio on activities of SUS in flag leaves (A) and grains (B) of forage rice

2.1.3 腺苷二磷酸焦磷酸化酶(ADPase)活性 从图 3 可以看出,不同施氮量各处理水稻籽粒 ADPase 活性在黄熟期差异较大,氮中量施肥法处理籽粒酶活性分别比氮高量施肥法、氮低量施肥法处理提高了 10.58%、22.91%。

肥法、氮低量施肥法处理提高了 33.38%、12.07%。

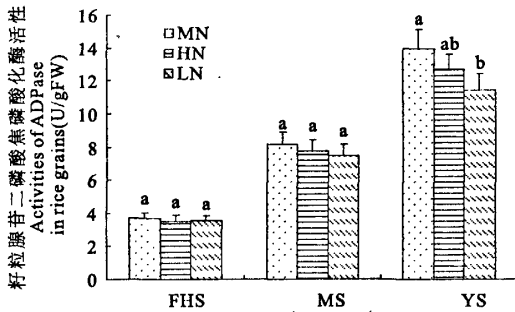


图 3 不同施氮量对饲料稻籽粒腺苷二磷酸焦磷酸化酶活性的影响

Fig. 3 Effects of different nitrogen fertilizer ratio on activities of ADPase in grains of forage rice

2.2 光合特性

2.2.1 叶绿素含量 从图 4 可知,不同施氮量各法处理水稻旗叶中叶绿素含量在孕穗期和乳熟期差异较大。在孕穗期,氮中量施肥法处理叶绿素含量分别比氮高量施肥法、氮低量施肥法处理提高了 9.84%、9.10%,乳熟期分别提高了 3.24%、6.40%。

2.2.2 净光合速率 从图 5 可以看出,不同施氮量各法处理水稻旗叶净光合速率在乳熟期差异较大,氮中量施肥法处理旗叶净光合速率分别比氮高量施

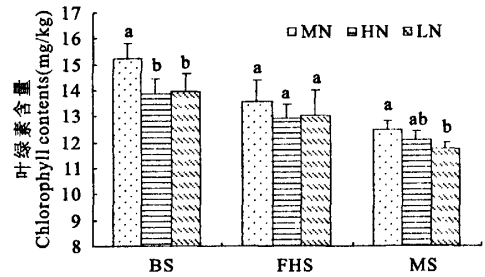


图 4 不同施氮量对饲料稻旗叶绿素含量的影响

Fig. 4 Effects of different nitrogen fertilizer ratio on chlorophyll contents in flag leaves of forage rice

注:BS - 孕穗期,下同。 Note: BS - booting stage, the same symbols are used for other figures and tables.

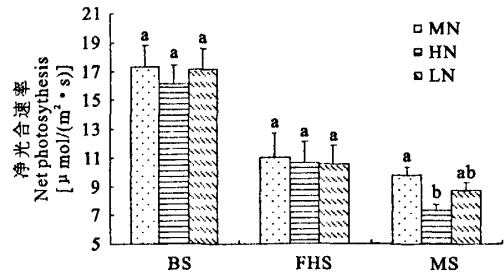


图 5 不同施氮量对饲料稻净光合速率的影响

Fig. 5 Effects of d different nitrogen fertilizer ratio on net photosynthesis rate in flag leaves of forage rice

2.3 蔗糖和淀粉含量

2.3.1 蔗糖含量 从图 6 可以看出,不同施氮量各法处理旗叶中蔗糖含量差异不大;乳熟期各处理籽

粒中淀粉含量有较大差异,氮中量施肥法处理籽粒中淀粉含量分别比氮高量施肥法、氮低量施肥法处

理提高了 13.23 %、16.29 %。

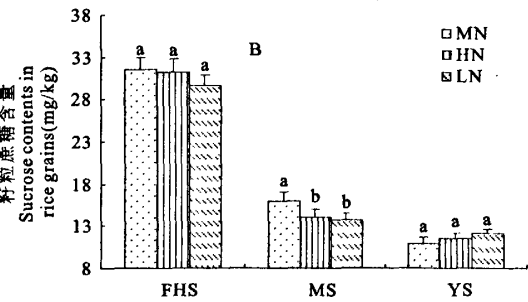
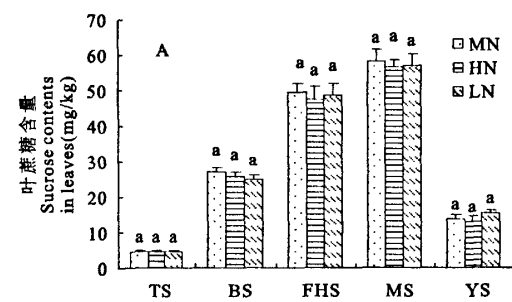


图 6 不同施氮量对饲料稻旗叶(A)和籽粒(B)中蔗糖含量的影响

Fig.6 Effects of different nitrogen fertilizer ratio on contents of sucrose in flag leaves (A) and grains(B) of forage rice
注:TS-分蘖期。 Note: TS- tillering stage.

2.3.2 淀粉含量 从图 7 可以看出,不同施氮量各法处理水稻籽粒中淀粉含量在乳熟期和黄熟期差异较大。在乳熟期,氮中量施肥法处理籽粒中淀粉含量分别比氮高量施肥法、氮低量施肥法处理提高了 8.37 %、12.84 %,黄熟期分别提高了 4.78 %、10.51 %。

8.47 %。

2.4 考种指标和产量

尽管氮中量施肥法处理饲料稻在株高、穗长、结实率、千粒重方面较其他施肥法处理具有优势,但各处理之间差异性不显著(表 1),各处理产量之间的差异主要是各处理有效穗不同所致。氮中量施肥法处理有效穗分别比氮高量施肥法、氮低量施肥法处理处理提高了 7.70 %、10.32 %,理论产量分别提高了 13.68 %、7.37 %,实际产量分别提高了 12.02 %、

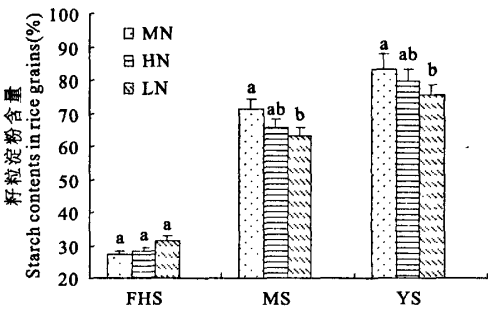


图 7 不同施氮量对饲料稻籽粒中淀粉含量的影响
Fig.7 Effects of different nitrogen fertilizer ratio on contents of starch in grains of forage rice

表 1 不同施氮量处理饲料稻株高、穗长、有效穗、每穗实粒数、结实率、千粒重、理论产量和实际产量

Table 1 Effects of different nitrogen fertilizer ratio on plant height, panicle length, effective spike, full spiketlets per panicle, seed rate, 1000-grain weight, theoretic yields and real yields of forage rice

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	穗长 Panicle length (cm)	有效穗 Effective spike (10 ⁴ 穗/hm ²)	每穗实粒数 Full spiketlets per panicle (粒)	结实率 Seed rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	理论产量 Theoretic yields (kg/hm ²)	实际产量 Real yields (kg/hm ²)
MN	94.9 a	34.8 a	235.1 a	140.5 a	69.5 a	25.26 a	8344 a	8200 a
HN	96.6 a	34.0 a	218.3 b	138.4 a	66.7 a	25.72 a	7340 b	7320 b
LN	93.7 a	34.4 a	213.1 b	133.6 a	68.1 a	25.82 a	7771 b	7560 b

3 结论与讨论

通常认为,水稻是一种适水性植物,其灌溉也是以提供水稻生长适宜的水环境为目的的淹灌。但从水稻的生长特性看,它具有既能生长在淹水的土壤环境下,又能生长在旱田地里的双重适应性能。

水稻对水分的需求包括耕作需水、生态需水和生理需水。在一定条件下减少耕作需水和生态需水,也能满足水稻正常生理需水要求,保证作物正常生长、发育。研究表明,当土壤水分不足或受人为控制时,水稻在一定程度上表现出对水分胁迫的适应性,植株保水性根系活力和吸水能力增强;恢复供水后,还

能够在叶片或植株水平上表现出补偿性生长的特点;一定的水分亏缺也有利于增产^[9]。

SPS 是光合代谢主要的酶,它催化的反应限制蔗糖合成^[10]。在光合作用过程中,磷酸丙糖转运到细胞质,在细胞质中它被合成为终端产物^[11],因此,SPS 活性与植物的干物质的积累有关^[12]。本研究证实 SPS 活性与水稻产量有关,氮中量施肥法处理水稻蔗糖磷酸合成酶活性较高,其理论产量和实际产量也较高。SUS 催化蔗糖的分解,形成鸟苷二磷酸葡萄糖和果糖,这个反应被认为是蔗糖向淀粉转变的第一步^[13],因为 SUS 分解库器官中的蔗糖,所以有人把 SUS 活力看作库强的标志^[14]。SUS 活性与水稻籽粒的库强有关,SUS 和 SPS 活性的相互变化,有利于形成蔗糖浓度梯度,加快蔗糖从韧皮部筛管“卸载”到库器官^[11,15]。本研究结果表明,氮中量施肥法处理籽粒 SUS 活性较其他处理高,因此,氮中量施肥法能增加水稻库强,加速蔗糖向籽粒运输,增强籽粒灌浆进程。

籽粒灌浆期是淀粉合成和积累的主要时期,这个过程有四种酶扮演着重要的角色,SUS、ADPase、淀粉合成酶(SS)以及淀粉分支酶(SBE)^[16,17],ADPase 是淀粉合成途径中的关键酶,它催化淀粉合成系列反应的第一步^[18]。蔗糖含量的增加可激活 ADPase 活性,可让碳源更多合成淀粉而不是向呼吸作用方向转移^[11]。SUS 活性也有利于碳水化合物的积累和催化蔗糖向淀粉转化^[14,19],本研究结果也证明了这一点,氮中量施肥法籽粒蔗糖含量较其他处理高,其 ADPase 活性也较高;同时,氮中量施肥法 SUS 活性也较高,结果氮中量施肥法处理籽粒中淀粉含量也较其它处理高。作物的产量决定于库器官和光合器官利用光合产物的能力^[20]。本研究结果表明,氮中量施肥法处理水稻光合作用较强,光合同化的有机复合物较多,结果有效穗和每穗实粒数较多,产量最高。本试验较系统地探讨了不同施氮量对水稻碳代谢几种关键酶、光合特性以及产量的影响,并且试图讨论推荐配比施肥形成高产的深层次原因。我们发现,氮中量施肥法之所以获得高产,主要是氮中量施肥法能提高水稻的光合能力,有效地调控与产量形成密切相关的酶的活性,提高水稻的有效穗数和每穗实粒数,从而最终提高了水稻产量。但本研究没有探讨不同施氮量引起酶活性和光合特性差异的内在分子原因,也没有回答不同施氮量处理的肥料利用率以及不同施氮量对环境的影响,因此,上述问题值得进一步的研究。

参考文献:

- [1] 张霞,罗延庆,张胜全,等.不同氮肥运筹对冬小麦产量、蛋白质及其组分的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(2):45—49.
- [2] 熊淑萍,姬兴杰,赵巧梅,等.不同肥料类型对土壤硝态氮时空变异的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):171—176.
- [3] 周瑞庆,张石蕊,向远鸿,等.高蛋白饲料稻综合技术的研究[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2000,26(6):411—414.
- [4] 沈维军,张石蕊,范志勇,等.饲料中糙米替代玉米的比例对饲料制粒性能的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2006,32(2):161—163.
- [5] 朱红梅,刘强,荣湘民,等.不同栽培方法对水稻产量及蛋白质含量的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2004,30(1):4—8.
- [6] 刘强,罗泽民,荣湘民,等.不同时期不同施氮量对糙米蛋白质积累影响的初探[J].土壤学报,2000,37(4):529—535.
- [7] 中国科学院上海植物生理研究所.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999.
- [8] 李永庚,于振文,姜东,等.冬小麦旗叶蔗糖和籽粒淀粉合成动态及与其有关的酶活性的研究[J].作物学报,2001,27(5):658—663.
- [9] 陈家宙,陈明亮,何圆球.土壤水分状况及环境条件对水稻蒸腾得影响[J].应用生态学报,2001,12(1):63—67.
- [10] Tamara L J, Dawn E T, Donald R O. Chilling delays circadian pattern of sucrose phosphate synthase and nitrate reductase activity in tomato[J]. Plant Physiology,1998,118:149—158.
- [11] Janneke H M, Hendriks, Anna K, et al. ADPglucose pyrophosphorylase is activated by posttranslational redox-modification in response to light and to sugars in leaves of arabidopsis and other plant species[J]. Plant Physiology, 2003,133:838—849.
- [12] Sarquis J I, Gonzalez H, Sanchez de Jimenez E, et al. Physiological traits associated with mass selection for improved yield in a maize population[J]. Field Crops Res., 1998,56:239—246.
- [13] Yang J C, Zhang J H, Wang Z Q, et al. Activities of key enzymes in sucrose-to-starch conversion in wheat grains subjected to water deficit during grain filling[J]. Plant Physiology, 2004, 135:1621—1629.
- [14] Kato T. Change of sucrose synthase activity in temperature reduces starch deposition in Wheat endosperm of rice cultivars[J]. Crop Science,1995,35:827—831.
- [15] Rontein D, Dieuaide-Noubhani M, Dufoure E J, et al. The metabolic architecture of plant cells. Stability of central metabolism and flexibility of anabolic pathways during the growth cycle of tomato cells[J]. J Biol Chem, 2002, 277: 43948—43960.
- [16] Ahmadi A, Baker D A. The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in Wheat[J]. Plant Growth Regul., 2001,35:81—91.
- [17] Hurkman W J, McCue K F, Altenbach S B, et al. Effect of temperature on expression of genes encoding enzymes for starch biosynthesis in developing Wheat endosperm[J]. Plant Science, 2003,164:873—881.

(下转第 46 页)

The effect of potassium application and water supplement in different stages on potato yield and WUE in semiarid area

CHEN Guang-rong¹, GAO Shi-ming², ZHANG Xiao-yan³, ZHANG Wei¹, WANG Ya-hong¹

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The experiment of split-plot design with potassium application as main treatments and water supplement in different stages as sub treatments was conducted to study the effect of the treatments on potato yield and WUE in semiarid area. The results showed that the difference of the amount of potassium application, different stage of water supplement and their interaction on yield and WUE was in significant level or very significant level. On the condition of K(150 kg/hm²) and seedling of water supplement the yield and WUE reached 36 324.97 kg/hm², 94.2 kg/(mm·hm²), respectively. The yield and WUE increased by 32.24% and 30.7% compared with CK, respectively.

Keywords: potato; potassium fertilizer; different stage of water supplement; WUE

(上接第 40 页)

- [18] Sikka V K, Choi S B, Kavakli I H, et al. Subcellular compartmentation and allosteric regulation of the rice endosperm ADPG-glucose pyrophosphorylase[J]. *Plant Science*, 2001, 161: 461—468.
- [19] Dale E M, Housley T L. Sucrose synthase activity in developing wheat endosperms differing in maximum weight[J]. *Plant Phys-*

iology, 1986, 82: 7—10.

- [20] Sun J D, Okita T W, Edwards G E. Modification of carbon partitioning, photosynthetic capacity, and O₂ sensitivity in arabidopsis plants with low ADPGlucose pyrophosphorylase activity[J]. *Plant Physiology*, 1999, 119: 267—276.

Effects of different nitrogen fertilizer ratio on key enzymes activities of carbon metabolism and forage rice yield under water-saving condition

XIE Gui-xian, LIU Qiang, RONG Xiang-min, SONG Hai-xing, PENG Jian-wei, ZHU Hong-mei

(College of Resource & Environment, Hunan Agriculture University, Changsha, Hu'nan 410128, China)

Abstract: Field experiment combining with laboratory analysis were conducted to study the effects of three different nitrogen ratio fertilizer methods (medium nitrogen ratio fertilizer method—the ratio of N, P₂O₅, K₂O is 190, 90, 100 kg/hm², high nitrogen ratio fertilizer method—N, P₂O₅, K₂O is 210, 90, 100 kg/hm² and low nitrogen ratio fertilizer method—N, P₂O₅, K₂O is 170, 90, 100 kg/hm²) on key enzymes activities of carbon metabolism and forage rice (Weiyou 198) yield under water-saving condition in 2003 in Changsha city. The results showed that, the activities of sucrose phosphate synthase (SPS), sucrose synthase (SUS) and ADP-glucose pyrophosphorylase (ADPase) in flag leaves and grains, the net photosynthesis rate in flag leaves, the content of sucrose in flag leaves and grains, the ability of sucrose was converted into starch were improved significantly by medium nitrogen ratio fertilizer method compared with those of High Nitrogen Ratio fertilizer method and Low Nitrogen Ratio fertilizer method. In compared with the high nitrogen ratio fertilizer method treatment and low nitrogen ratio fertilizer method treatment, the effective spikes under medium nitrogen ratio fertilizer method were increased by 7.70% and 10.32%, and grains yield were increased by 12.02% and 8.47%, respectively. The medium nitrogen ratio fertilization method was suitable for high protein forage rice cultivation.

Keywords: rice; sucrose phosphate synthase (SPS); sucrose synthase (SUS); ADP-glucose pyrophosphorylase (ADPase); photosynthesis; yield