

水稻氮肥利用效率的研究进展

赵琦

(辽宁省农业技术推广总站, 沈阳 110034)

摘要:我国水稻生产发展迅速,氮肥的使用起了重要作用,但我国氮肥利用率却明显低于世界平均水平。这不仅严重影响我国水稻生产整体竞争力,还会引发一系列环境问题。本文综述了氮对水稻生长的影响,以及影响水稻对氮肥吸收的各种因素,并就如何提高我国水稻氮肥利用效率展开讨论,以期为提高我国氮肥利用水平和农民增产增收提供参考。

关键词:水稻;氮肥利用效率;施肥技术

中图分类号:S511.062 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2016)06-0015-05

我国是世界上水稻总产量最多的国家,水稻种植面积占世界水稻种植面积的 18.5%,产量约占世界水稻总产的 28.9%,但稻米出口量却不到世界稻米总出口量的 5.0%^[1]。究其原因,除米质和口感与国外优质米相比欠佳外,农药和化肥施用过多,单位种植成本过高,在国际市场缺乏价格竞争力也是重要因素。我国氮肥用量占全球氮肥总用量的 30.0%,水稻生产消耗的氮肥占世界水稻氮肥总消耗量的 37.0%,是世界第一大氮肥消费国^[2]。

1 氮对水稻生长的影响

水稻生长离不开氮,它是植物体内氨基酸的组成部分,是构成蛋白质的成分,在蛋白质中含量占 16%~18%,同时也是叶绿素的重要组成部分。氮素又是水稻体内的一个特殊矿质营养元素,与磷、钾等一些元素不同,水稻吸收的氮除了少数以游离氨基酸、叶绿素、硝态氮等形态存在于各个器官中,有 70%以上存在于结构蛋白中^[3]。缺氮时,水稻许多生理生化活动会受到影响,植株矮小、枯黄,发生失绿症,产量显著下降。而我国耕地土壤含氮量匮乏,仅仅依靠土壤中所含的氮素远远不能满足水稻生长过程中对氮素的需求^[4]。因此,增施氮肥就自然成为提高水稻产量的重要途径之一。

合理施氮可以有效促进水稻早生快发,增强植株光合作用,促进叶绿素合成,增加水稻干物质的积累从而提高产量。用土壤测试仪进行分析后发现,每 kg 纯氮可使水稻增产 70~250 kg。研究显示,随施氮量的增加,水稻氮素积累总量、稻米蛋白质含量增加,水稻产量和穗数提高,但结实率降低^[5]。水稻收获指数和氮素生产效率随施氮量增加而下降。

氮肥施用量过大,或施用方法不合理,会对水稻生长产生负面影响。有关试验表明,氮肥用量增加至一定水平后,水稻产量不升反降。原因是偏施重施氮肥引起稻株体内各元素比例失调,减弱了光合作用强度。这些多余的氮还会存在水稻体内成为致病诱因,降低水稻的抗性,易引发如植株徒长、倒伏、生长后期贪青晚熟、病虫害加重和米质变劣等问题。有研究表明,过量施用氮肥是我国农业氮利用率低而损失率高的主要原因^[6]。

2 我国水稻氮肥利用现状

目前,全球范围内每年氮肥的用量大约是 1 000 亿 kg,水稻氮肥平均施用量为 112 kg/hm²^[7]。据研究报告,我国稻田单季水稻氮肥用量平均为 180 kg/hm²,这一用量比世界平均用量大约高 75%左右。我国稻田氮肥用量占氮肥总消费量的 24%左右。但我国稻田氮肥利用率仅为 30%~35%,有些地方甚至不足 20%,明显低于世界平均水平,大部分氮随着氨的挥发、反硝化作用、土表流失和渗漏作用损失掉了。我国水稻氮肥利用率低的原因主要包括:因长期大量施肥导致稻田土壤背景氮过高;因杂交稻和超级稻种植面积不断扩大,在高产目标驱使下施肥量不断提高;南方一些省份前期施氮比例过高,造成大量氮肥径流和挥发损失;为减少前期施氮过多导致过多的无效分蘖,在水稻生长中期晒田,加剧了土壤中氮素损失^[8]。

氮素的损失不仅造成资源浪费、生产成本增加,还导致稻米品质下降、病虫害加重,而且引发温室效应、

收稿日期:2016-08-05

土壤板结、地下水污染等一系列环境问题,危及人类健康。以江苏太湖为例,大量氮肥施用造成太湖水体含氮量超标,富营养化日趋严重^[9]。对京津唐地区地下水和饮用水的一项调查表明,69个乡镇中有一半以上乡镇硝酸盐浓度超标。统计还表明,我国有60多个大中型湖泊水体富营养化,占比接近50%^[10]。而饮用水中硝酸盐浓度高于10 mg/L可能导致婴儿高铁血红蛋白血症和成人胃癌。辽宁省目前水稻生产上的施氮量在200~300 kg/hm²,一些地区甚至高达350 kg/hm²,远高于全国平均水平。氮肥偏生产力(PFP)仅为33 kg 稻谷/kg N,而泰国、菲律宾这一数据为43 kg 稻谷/kg N和49 kg 稻谷/kg N,与日本的73 kg 稻谷/kg N相比更是差距甚远^[11]。我国氮肥施用方式上仍以基肥为主,占氮肥用量的80%~90%。

3 影响水稻氮素吸收的因素

水稻通过根系吸收土壤中的养分,根系的形态、分布以及生理特性对氮素的吸收利用起着决定性作用。水稻根系的吸收能力还受其他因素的影响。研究表明,土壤中加入草炭和风化煤,可以降低土壤pH值,改善盐碱地区的土质状况,增加水稻根系表面的铁氧化物胶膜厚度和数量,从而提高水稻根系氧化能力,促进水稻对养分的吸收^[12]。

众所周知,温室效应是近年来世界各国公认的最主要危害,它引发了全球变暖、气候异常等一系列环境问题,而导致温室效应的罪魁祸首就是温室气体,包括二氧化碳(CO₂)、臭氧(O₃)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O),以及人造温室气体氯氟碳化物(CFCs)、全氟碳化物(PFCs)、氢氟碳化物(HFCs,含氯氟烃 HCFCs 及六氟化硫 SF₆)等。其中,O₃是最主要的温室气体和二次污染物,并可导致植物体出现可见的伤害症状^[13]、光合作用受阻^[14],还能引起植株体叶绿素含量降低^[15]、加速叶片衰老^[16]。试验证明,O₃还使水稻根系抗氧化酶活性和生理代谢能力下降^[17]。

栽培耕作方式也对水稻氮吸收产生影响。研究表明,垄作免耕有利于水稻根系生长和干物质积累,其根系对肥料吸收面积及活力都明显高于常规耕作^[18];免耕直播稻根系在分蘖期、孕穗期和齐穗期的营养吸收总量和从根系输出率均比翻耕直播高^[19];免耕移栽稻根系吸收的总积累量同样高于翻耕移栽稻^[20]。对早稻进行免耕与常耕栽培对比试验结果表明,免耕水稻与常耕水稻相比,根系活力高7.4%~34.9%^[21]。水稻植株吸

收的氮肥数量,及其在体内的分配与土壤耕作栽培方式密切相关^[22]。免耕提高了水稻对氮的吸收比率及其在籽粒和根中的分配比率,有利于肥料氮素的积累。对水稻最高分蘖期调查表明,免耕稻单丛根干物质质量、根冠比、根系总吸收表面积以及活跃吸收表面积均高于翻耕稻^[23]。

此外,施肥量、施肥种类以及施肥方法也对水稻根系生长、吸收产生很大影响^[24]。合理的氮肥水平可以促进冠根分枝生长,并增加根毛密度和长度。研究表明,施氮量过多反而会降低根系吸收能力,使根系变短^[25];苗期合理施用“起身肥”,能显著提高移栽后的水稻根际土壤氮素浓度,促进秧苗根系活力和吸收能力^[26];与常规分次施肥相比,一次性施用控释肥能显著提高根系氮吸收能力^[27]。因为控释肥养分释放动态与水稻需肥量较吻合,提供了持续、较平衡的养分供应^[28]。研究人员对水稻根系吸收能力与控释肥的关联度进行试验,结果表明,控释肥显著增加了根系总吸收面积以及有效吸收面积,拓宽了养分吸收范围;还提高了表层土以下的根系密度和重量,使根部组织衰老缓慢、抗逆能力增强^[29]。

3.1 水稻类型差异对氮吸收的影响

不同类型的水稻品种对氮的吸收利用各不相同,氮素利用率存在明显差异^[30-34]。一般情况下,产量高的品种较产量低的品种需氮量更高^[32];籼稻对氮的敏感程度比粳稻更高^[33],具有更高的氮利用效率^[35]。

在相同种植条件下生产500 kg 稻谷,杂交稻较常规稻需氮更少。在水培条件下,科研人员对95个不同类型水稻品种的不同生长时期含氮率进行了测定,结果显示,籼稻吸收氮肥总量比粳稻平均高14.1%,杂交籼稻和杂交粳稻吸氮总量比常规籼稻及常规粳稻分别高22.8%和16.4%^[36]。在低氮土壤条件下,研究人员对24个不同水稻品种的含氮率测定后认为,不同基因型水稻品种的含氮率差异明显^[37]。对多个不同基因型水稻连续种植3季后,不同基因型水稻氮素利用率差异化明显且比较稳定^[38]。试验证明,常规籼、粳稻抽穗和灌浆初期的茎、叶、鞘含氮率都低于杂交稻^[39]。

氮的吸收在杂交稻种群间的差异表现也十分明显。两系杂交稻晚季比三系杂交稻吸氮量略低。科研人员对水稻分蘖末期的氮利用效率(地上部干质量)研究发现,在选用的90个水稻品种中,最高的品种与最低的品种相差77.4%,差异明显^[40]。在对三系杂交组合汕优63和两系亚种间杂交稻PE037×0248间的吸氮特性

和物质生产关系进行研究发现, 氮素在稻谷中的分配比例, 三系杂交稻高于两系杂交稻; 而氮素在稻草中分配比例则是三系杂交稻低于两系杂交稻。说明氮素在两种稻株体内的分配是存在差异的。

3.2 施肥技术对水稻氮肥吸收的影响

施肥技术在提高氮肥利用率方面具有不可忽视的作用, 国内外农业专家在水稻施肥技术环节上进行了不懈的探索和努力。日本的田中稔博士提出了深层施肥法, 此方法以成穗率和结实率作为衡量基肥、追肥数量的标准, 当成穗率少于 80% 说明基肥过多, 应调整基肥用量; 当结实率少于 80%, 应适当减少追肥用量。此外, 还有以提高结实率和粒重为衡量标准的片仓施肥法; 减少基肥中氮用量, 以追肥作为重点的桥川潮水稻施肥技术等。研究人员对松岛省三提出的“V”字型施肥方法研究后认为, 该施肥方法对穗大粒多型品种比较适合。与此方法类似的还有国内的“前促、中控、后补”法。在生产上应用“三控”(控肥、控苗、控病虫) 水稻施肥技术后, 氮肥农学利用率、氮肥吸收利用率以及氮肥偏生产力方面均高于习惯施肥方法^[41]。

依据水稻器官的同伸规律, 叶龄诊断施肥技术通过调查水稻叶龄, 从而判断水稻的生长进程, 达到合理施肥、提高肥料利用率和产量的目的^[42]。氮、磷、钾科学合理的配比施肥, 可以增强水稻抗逆性, 减少病虫害及倒伏发生, 水稻生产上通过采用平衡施肥技术“3414”试验方案, 证明了不同氮、磷、钾配比对水稻产量的影响^[43]。试验研究证明, 平衡施肥技术对水稻产量构成因素具有明显促进作用^[44]。测土配方施肥技术是根据土壤中的肥料数量和供肥能力, 以及作物的需肥规律来制定施肥量的施肥技术。

农业机械化是我国农业发展的必然趋势, 施肥方式也要配合机械化的推进而发展。农业专家们适时研究出了农机与农艺相结合的水稻机插秧侧深施肥技术, 并明确了该技术对提高水稻肥料利用率、实现水稻生产节本增效的作用^[45]。

传统经验性施肥方式已不能满足现代精准农业的需要, 越来越多的科技手段融入到实际生产中来。国际水稻研究所(IRRI) 近几年将计算机决策支持系统、叶绿素快速检测仪(SPAD) 与施肥技术相结合, 发展了实时、定点施肥管理技术。试验证明, 在菲律宾应用实时、定点施肥管理技术将使农民增产 12.5%, 氮肥农学利用率提高 57.0%^[46]。该技术基肥氮用量较低, 中后期追肥用量增加, 这都有利于水稻对氮肥的吸收, 使水稻氮

肥利用率和产量得到同步提高^[47]。

基于 GPS (包括地理信息系统和差分全球定位系统) 的变量施肥技术在黑龙江省率先研发并推广使用。该技术可根据地区差异、不同土壤类型、不同土壤养分盈亏情况以及作物类别和产量指标, 将水稻所需各类微量元素和有机肥等加以科学配比, 减少因习惯施肥而造成的有机肥施用偏少, 氮、磷、钾以外微量元素摄取不足等问题^[48]。同时, 减少了因施肥过量造成的环境污染, 提高了稻米品质, 为提高肥料利用率, 推进精准农业发展提供了有力支持。

4 提高水稻氮素利用效率的途径

改进栽培方式是提高氮肥利用率最为行之有效的途径之一。目前主要从施肥方面开展研究, 包括肥料的种类、用量、施用时期、施用方式等。逐步形成了斯坦福适宜施氮量理论方程、实时施肥模式(RTNM) 和氮素管理模型(MANGE-N) 等。此外, 氮、磷、钾配合施用、有机无机配合施用、氮肥后移等都可以有效提高氮素利用率。

由于各地区产量水平不同、土壤背景养分状况不同, 其适宜施氮量和施肥管理模式也必然不同。据国内外大量田间试验结果以及同位素示踪研究证明, 如果以氮、磷、钾配合施用区的产量为 100% 来计算, 水稻在无肥区的产量一般仅有 70% 左右, 而小麦只有 35%, 大麦为 40%, 说明形成稻谷产量所吸收养分有 70% 是来源于土壤, 只有 30% 源于当年施肥, 并随着水稻产量的提高, 水稻根系从土壤中吸收的养分绝对数量也相应增加^[49]。因此, 改造中低产田, 培肥地力是重要环节。

4.1 化肥有机肥合理配施

普查资料显示, 我国农田有机质平均含量低于 1.5%, 有 11.0% 的耕地有机质含量不到 0.6%; 东北新垦区 1973 年前土壤有机质含量为 8.0%~12.0%, 至 2003 年已降至 1.0%~5.0%; 西北地区则低于 1.0%^[50]。注重有机肥和无机肥的配合施用, 这样既能保证水稻需肥高峰期的营养供应又能保证肥效平稳, 能显著提高水稻生长中后期, 尤其是灌浆期的稻株肥料吸收和积累, 促进养分向稻穗和籽粒中流动和分配, 增加植株结实率与千粒重, 进而提升水稻产量。增施农家肥和秸秆还田是普遍采用的有效措施。研究人员通过对湖南红土稻田连续多年的田间试验证明, 有机肥和化肥配合施用后, 土壤有机质含量 5 年提高了近 20%^[51]。

4.2 土地深耕

深耕有利于水稻根系发育,促进根系向下延伸,有利于稻株对土层营养的吸收。研究表明,化肥(主要为氮肥)表施,利用率不到 50.0%,损失很大。而经深耕后施用,利用率可提高 10.0%~20.0%,生产上可节省氮肥 10 kg/667m² 左右^[52]。

4.3 合理施用绿肥

绿肥是纯天然的生物肥料,由绿色植物的鲜嫩枝叶经过适时收割、翻压而成,富含大量的有机质和多种微量元素,容易分解,肥效高、肥力快。1 000 kg 绿肥鲜草可提供氮 6.3 kg、磷 1.3 kg、钾 5.0 kg,相当于 13.7 kg 尿素、10.0 kg 硫酸钾和 6.0 kg 过磷酸钙。稻田绿肥主要包括田菁、绿萍、油菜等。在我国南方地区一些稻农曾比较重视施用绿肥,并将绿肥作为换茬作物加以种植。北方地区由于季节和气候原因还未在生产上大面积推广。

4.4 排水改良

一些平原低洼地以及丘陵地带洼地土壤常年受水浸渍影响,土质粘重,土壤肥力得不到充分释放,阻碍了水稻营养吸收和生长,可以采用在稻田周边开沟排水,降低水位,提高土温,促进微生物分解土内有机物质,增强水稻生长活力。

此外,改进施肥技术,减少田间氮肥损失和残留也能提高氮肥利用率。一些高寒和山脊地区采用侧深施肥技术来提高肥料利用率。侧深施肥技术就是水稻插秧与施肥同时进行,将肥料施于秧苗一侧土壤中的一种施肥方法。研究表明,侧深施肥比传统粗放施肥方式提高肥料利用率 15%~20%,节约基肥、蘖肥总用量 20%~30%。日本早在 1975 年就对侧深施肥进行了研究,肯定了侧深施肥技术有较显著的节肥增产作用,并于 1981 年开始推广,5 年后研制出侧深施专用肥。到 1992 年,日本累计采用侧深施肥面积达到 20% 左右。黑龙江省 1997 年为农户配备侧深施肥装置 2 000 多台,采用侧深施肥技术累计节肥 6 000 多 t、增产稻谷 6 000 万 kg。至 2000 年,黑龙江省已累计推广侧深施肥耕地面积达 36.8 万 hm²^[53]。一些地区使用控释肥来提高水稻对肥料的吸收利用率,在河沙泥土质上表现尤其突出,可减少因降雨造成的径流损失风险。施用含氮 70% 的控释肥比施用全量尿素的氮素利用率提高 39.1%^[54]。

参考文献

[1] 周锡跃,徐春春,李凤博,等.世界水稻产业发展现状、趋势及对我国的启示[J].农业现代化研究,2010,31(5):525-528.

[2] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等.提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J].中国农业科学,2002,35(9):1 095-1 103.

[3] 范苗苗.水稻氮肥利用效率的品种间差异及其生理机制[D].扬州:扬州大学,2012.

[4] 赵其国,周生路,吴绍华,等.中国耕地资源变化及其可持续利用与保护对策[J].土壤学报,2006,43(4):662-672.

[5] 江立庚,曹卫星,甘秀芹,等.不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品质的影响[J].中国农业科学,2004,37(4):490-496.

[6] 候红乾,冀建华,刘光荣,等.南方红壤区稻——稻连作体系下氮肥减施模式研究[J].中国水稻科学,2012,26(5):555-562.

[7] 谢建昌.世界肥料使用现状与前景[J].植物营养与肥料学报,1998,4(4):321-330.

[8] 李虎,唐启源.我国水稻氮肥利用率及研究进展[J].作物研究,2006(5):401-404.

[9] 姚月明,蔡玉生,许学前,等.水稻科学高效安全施肥技术研究[J].江苏农业科学,2000(5):7-11.

[10] 梁春英,王熙,张品秀,等.基于 DGPS 变量施肥技术的应用与探索[J].现代化农业,2003(12):25-27.

[11] 于广星,隋国民,彭少兵,等.水稻实地氮肥管理技术对水稻生育及氮肥利用率的影响[J].辽宁农业科学,2009(6):1-4.

[12] 宋轩,曾德慧,林鹤鸣,等.草炭和风化煤对水稻根系活力和养分吸收的影响[J].应用生态学报,2001,12(6):867-870.

[13] Mudd J B. Biochemical basis for the toxicity of ozone [C]. In: Yunus M, Iqbal M eds. Plant response to air pollution. Wiley, New York, 1997: 267-284.

[14] Torsethaugen G, Pell E J, Assmann S M. Ozone inhibits guard cell K⁺ channels implicated in stomatal opening [J]. PNAS, 1999, 96: 13 577-13 582.

[15] Reich P B. Effects of low concentrations of O₃ on net photosynthesis, dark respiration, and chlorophyll contents in aging hybrid poplar leaves[J]. Plant Physiol, 1983, 73: 291-296.

[16] Pearson S, Davison A W, Reiling K, et al. The effects of different ozone exposures on three contrasting populations of Plantago major[J]. New Phytol, 1996, 132: 493-502.

[17] 张巍巍,郑飞翔,王效科,等.臭氧对水稻根系活力、可溶性蛋白含量与抗氧化系统的影响[J].植物生态学报,2009,33(3):425-432.

[18] 高明,车福才,魏朝富.垄作免耕稻田根系生长状况的研究[J].土壤通报,1998,29(5):236-238.

[19] 王永锐,李小林.免少耕水稻的根系活力和叶片衰老的关系[J].耕作与栽培,1992(4):31-34.

[20] 岳元文.秧田茬免耕种植水稻的产量效应及生理基础研究[J].四川农业大学学报,1994,12(3):396-401.

[21] 黄国勤,黄小洋,张兆飞,等.免耕对水稻根系活力和产量性状的影响[J].中国农学通报,2005,21(5):170-173.

[22] 梁天锋,徐世宏,刘开强,等.栽培方式对水稻氮素吸收利用与分配特性影响的研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(1):20-26.

- [23] 冯跃华, 邹应斌, Roland J Buresh, 等. 不同耕作方式对杂交水稻根系特性及产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2006, 39 (4): 693-701.
- [24] 潘晓华, 王永锐, 傅家瑞. 水稻根系生长生理的研究进展[J]. 植物学通报, 1996, 13(2): 13-20.
- [25] 罗许敏. 苗期水稻根系对供氮水平的响应及其与糖积累关系的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- [26] 郑永美, 丁艳锋, 王强盛, 等. 起身肥改善水稻根际土壤氮素分布与利用的研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(2): 314-321.
- [27] 唐拴虎, 徐培智, 陈建生, 等. 一次性施用控释肥对水稻根系活力及养分吸收特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 591-596.
- [28] 唐拴虎, 谢春生, 孙小文. 水稻施用控释肥料生长效应研究[J]. 中国农学通报, 2004, 20(1): 149-151.
- [29] 徐富贤, 郑家奎, 朱永川. 杂交中稻发根力与抽穗开花期抗旱性关系的研究[J]. 作物学报, 2003, 29(2): 188-193.
- [30] Shinji Ishikawa, Masahiko Maekawa, Tomotsugu Arite, et al. Suppression of tiller bud activity in tillering dwarf mutants of rice[J]. *Plant Cell Physiol*, 2005, 46(1): 79-86.
- [31] 张亚丽, 樊剑波, 段英华, 等. 不同基因型水稻氮利用效率的差异及评价[J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 267-273.
- [32] 胡太承, 颜振德. 水稻品种产量形成的生理生态研究, 品种营养特性与产量形成的关系[J]. 江苏农业科学, 1984(3): 1-8.
- [33] 杨肖娥, 孙羲. 不同水稻品种对低氮反应的差异及其机理的研究 [J]. 土壤学报, 1992(1): 73-79.
- [34] Singh U, Ladha J K, Castillo E G, et al. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in medium and long duration rice [J]. *Field Crop Res*, 1998, 56: 35-53.
- [35] Koutroubas S D, Ntanos D A. Genotypic differences for grain yield and nitrogen utilization in *Indica* and *Japonica* rice under Mediterranean conditions[J]. *Field Crop Res*, 2003, 83: 251-260.
- [36] 单玉华, 王余龙, 山本由德, 等. 不同类型水稻在氮素吸收及利用上的差异[J]. 扬州大学学报: 自然科学版, 2001, 4(3): 42-46.
- [37] De Data S K, Broadbent. Nitrogen use efficiency of 24 rice genotypes in N-deficient soil[J]. *Field Crop Res*, 1990, 23: 81-92.
- [38] Broadbent F E, De Datta S K, Laureles E V. Measurement of nitrogen utilization efficiency in rice genotypes [J]. *Agron J*, 1987, 79: 786-791.
- [39] 张建明, 李建刚, 管帮超. 不同类型水稻品种氮素吸收及利用效率的动态差异[J]. 上海农业学报, 2008, 24(1): 66-68.
- [40] 张云桥, 吴荣生, 蒋宁. 水稻的氮素利用效率与品种类型的关系 [J]. 植物生理学通讯, 1989 (2): 4547.
- [41] 钟旭华, 黄农荣, 郑海波, 等. 水稻“三控”施肥技术规程[J]. 广东农业科学, 2007(5): 13-15.
- [42] 周岚, 崔坤, 张喜田, 等. 水稻叶龄诊断施肥在生产上的应用研究 [J]. 吉林农业科学, 2001, 26(5): 37-39.
- [43] 吴跃民, 向习军, 季金娟, 等. 水稻平衡施肥技术研究[J]. 湖南农业科学, 2006(3): 50-52.
- [44] 尹彩侠, 王立春, 张国辉, 等. 平衡施肥对水稻产量和品质的影响 [J]. 吉林农业科学, 2007, 32(4): 29-30.
- [45] 王春江. 水稻侧深施肥技术试验总结[J]. 现代化农业, 2015(5): 23-24.
- [46] 刘立军, 桑大志, 刘翠莲, 等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [47] 贺帆, 黄见良, 崔克辉, 等. 实时实地氮肥管理对不同杂交水稻氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 470-479.
- [48] 梁春英, 王熙, 张品秀, 等. 基于 DGPS 变量施肥技术的应用与探索[J]. 现代化农业, 2003(12): 25-27.
- [49] 周毓珩, 马一凡. 水稻栽培 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1985: 116-120.
- [50] 白木, 庾晋, 子荫. 切实解决我国化肥施用不当造成的污染问题 [J]. 磷肥与复肥, 2003, 18(1): 9-11.
- [51] 徐明岗, 李东初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3133-3139.
- [52] 王一凡, 华泽田, 周毓珩. 节水稻作研究与应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 221.
- [53] 毕春辉, 陈长海, 李明金, 等. 浅谈水稻侧深施肥技术[J]. 农业装备技术, 2011, 37(6): 24-25.
- [54] 鲁艳红, 纪雄辉, 郑圣先, 等. 施用控释氮肥对减少稻田氮素径流损失和提高水稻氮素利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 490-495.

Research Progress on Improving the Utilization Efficiency of Nitrogen Fertilizer in Rice

ZHAO Qi

(Liaoning Agriculture Technique Extension Station, Shenyang 110034, China)

Abstract: Rice production develops rapidly in our country, nitrogen fertilizer play an important role in rice production, but the utilization rate of nitrogen fertilizer is lower than the average level of the world obviously. It not only affects the overall competitiveness of rice production in our country, but also leads to a series of environmental problems. The author introduced the effects of nitrogen on rice growth, the influencing factors of nitrogen absorption of rice, and discussed how to improve the nitrogen use efficiency of rice in our country in this paper, in order to increase the nitrogen use efficiency and income for farmers.

Key words: rice; nitrogen use efficiency; fertilization technology