

# 水溶性肥料生产技术

傅送保, 李代红, 王洪波, 曲均峰, 王国忠 (中海石油化学股份有限公司, 海南东方 572600)

**摘要** 介绍了水溶性肥料国内外研究开发情况, 分析了水溶性肥料生产原料选择以及固体水溶肥、液体水溶肥生产技术, 探讨了新型水溶性肥料的技术发展方向。

**关键词** 水溶性肥料; 生产技术; 发展

**中图分类号** S143.2<sup>+</sup>2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)17-07504-04

## Production Technology of Soluble Fertilizer

FU Song-bao et al (China Blue Chemical Ltd., Dongfang, Hainan 572600)

**Abstract** The research and development situation about soluble fertilizer at home and abroad were introduced, the selection of soluble fertilizer product materials and the production technology of solid and liquid soluble fertilizer were analyzed, the direction of technical development of new water soluble fertilizer was discussed.

**Key words** Soluble fertilizer; Production technology; Development

水溶性肥料(Water Soluble Fertilizer, 简称 WSF)是一种可以完全溶于水的多元素复合肥料, 能迅速地溶解于水中, 易被作物吸收, 养分吸收利用率相对较高, 尤其是它可以应用于喷灌、滴灌等设施农业, 实现水肥一体化, 达到节水、省肥、省工和增产的效能。水溶性肥料水溶性好, 杂质少, 电导率低, 使用浓度可方便调节, 具有肥效快、作物吸收率高、施肥简单、不易烧苗和适用性强等优点, 是未来肥料发展的重要方向之一<sup>[1]</sup>。

## 1 国内外技术开发现状

**1.1 国外技术开发现状** 国外较早就有水溶性肥料技术开发报道。从专利情况来看, 既有固体水溶性肥料产品开发专利, 又有悬浮液肥和液体肥料产品开发专利。1925 年, 英国就公布了一个直接用各种掺混的固体原料做水溶肥的专利。1962 年, 美国 Macbride 申请了一种片状水溶性肥料的生产专利<sup>[2]</sup>。1987 年, 美国 Boles 申请了高浓度氮硫悬浮肥的生产专利<sup>[3]</sup>, 采用硫酸 + 尿素或硝铵 + 悬浮剂黏土(1% ~ 2%), 并利用硝铵与尿素质量比 1.0:0.8 的低共熔获得高氮含量。1992 年, 美国 Peters 申请了一种固体掺混肥专利<sup>[4]</sup>, 产品含磷和钙, 主要由磷酸脲和硝酸钙组成, 通过磷酸脲的酸性使产品溶解后没有沉淀。1995 ~ 1996 年, 芬兰 Aijala 等申请了多项悬浮肥及其生产工艺专利<sup>[5-6]</sup>, 采用普通化肥原料, 通过研磨以获取高浓度的悬浮肥, 如尿素 - 磷酸一铵 - 硫酸钾养分含量 11-8-19, 颗粒细度 0.01 ~ 10.00 μm 的产品。1996 年芬兰阿扎拉在中国申请了含磷酸根和钙或镁的悬浮液肥专利<sup>[7]</sup>, 主要通过酸性的调控(pH 0.5 ~ 2.0)和研磨工序, 形成高浓度的悬浮液肥, 悬浮剂采用凹凸棒粉等。1999 年, 美国 Eltink 等申请了采用挤压造粒技术生产颗粒水溶肥产品专利<sup>[8]</sup>, 颗粒尺寸 0.5 ~ 5.0 mm, 颗粒中仍可分辨出原始原料养分, 产品生产中引入溶解助剂。2000 年, 美国 Svec 等申请了一种水溶性肥料专利<sup>[9]</sup>, 产品为掺混粉状, 其

中加入组合性的植物生长调节剂, 如维生素、氨基酸、多糖和辅料等。原料计量、粉碎、混合, 液相物料喷进混合器, 并通过搅拌获得均一产品, 对于吸湿、结块的小料溶解后再喷入。2000 年, 意大利 Sabatini 申请了水溶性复合肥料专利<sup>[10]</sup>, 产品为颗粒状, 产品中含大量元素氮、磷、钾, 中量元素钙、镁、硫, 以及微量元素铁、锰、锌、铜、硼、钼。2007 年, 美国 Yosef 等申请了 2 项水溶性肥料及其制备专利<sup>[11-12]</sup>, 产品为可自由流动的固态颗粒肥料, 不易结块, 易于储存与运输, 能快速、完全溶于水中, 可直接用作肥料或用于制备浓缩水溶肥组份, 产品中含磷酸钙、磷酸镁。2009 ~ 2010 年, 荷兰 Vriesema 等在多国申请了速溶水溶性肥料制剂及其方法和用途专利<sup>[13-14]</sup>。改进的固态水溶性肥料产品包含至少一种酸性(通常为营养性的)和至少一种碱性肥料组份, 酸与碱性物质质量比均不少于 5%。产品在干态下稳定, 溶解快速, 没有沉淀, 不生成气体。所述酸包括磷酸脲、KH<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>、柠檬酸等。2009 ~ 2011 年, 美国 Wells 申请了 2 项肥料悬浮液及其制备方法专利<sup>[15-16]</sup>。该技术也在中国进行了专利申请<sup>[17]</sup>, 浓缩、均匀、稳定的水溶性肥料悬浮物由水溶性矿物营养元素(氮、磷、钾、钙、镁等)和一种有机稳定添加剂组成, 悬浮物中水溶性矿物营养元素含量达到 80% 以上。

**1.2 国内技术开发现状** 我国水溶肥料的起步在 20 世纪 80 年代中后期, 基本上与我国的复混肥料同步。从专利情况来看, 我国水溶性肥料的研发前几年多集中在新疆和山东, 较有代表性的是两地的土肥系统。近几年全国各地研发水溶肥的科研单位与企业不断增加。

2001 年卢丽萍等申请了高浓度多元素液体肥料专利<sup>[18]</sup>, 大量元素 ≥ 30%, 中、微量元素 ≥ 10%, 针对果树、蔬菜等, 产品养分全、不沉淀、抗盐碱、成本低; 产品配方中尿素和硝铵合理搭配, 注重硝态氮和中、微量元素的引入, 通过磷酸调控体系酸度, 钾源采用硝酸钾和氯化钾的混合物。2002 年张小勇等申请了滴灌酸性液体肥料专利<sup>[19]</sup>, 主要针对新疆土壤, 通过肥料的强酸性保证含农用磷酸一铵肥料的水溶性, 同时解决滴灌孔堵塞问题, 并且使用促根剂保证根系的正常生长。2010 年汪鹤亭申请了一种含腐植酸的液态高浓

**作者简介** 傅送保(1967 - ), 男, 湖南岳阳人, 教授级高工, 博士, 从事新型肥料及石化产品与技术的研究开发, E-mail: fushb@enooc.com.cn。

**收稿日期** 2013-05-24

度水溶性肥料专利<sup>[20]</sup>,以磷酸氢二钾、可溶性氮肥尿素或硝酸铵作为原料,并选取中性可溶的腐植酸,配以助剂皂素,提高了含腐植酸液态水溶性肥料中大量营养元素的浓度,产品中营养元素含量高,可全面补充营养。2011 年刘孝富等申请了性能稳定的多元素高浓度液体肥料专利<sup>[21]</sup>,配方含尿素、磷酸、磷酸二氢钾、硼砂、钼酸铵、硫酸镁、EDTA 锰、硫酸锌等,水与原料质量比为 3:4,产品经过化学反应而成,具有密度大、附着力好、性能稳定的优点。2012 年杨玉申请了一种高浓度多元素液体肥料专利<sup>[22]</sup>。该液体肥料包含有微量元素添加剂,配料有尿素、磷酸、氯化钾、氧化钙、氧化镁、硼砂、硫酸亚铁、硫酸锌、硫酸锰、硫酸铜、钼酸钠、葡萄糖、螯合剂等。

1999 年,尹飞虎等申请了喷滴灌用肥专利<sup>[23]</sup>,产品为白色粉状结晶,基本养分配料为磷酸一铵 15%~60%、硫酸钾 6%~12%、尿素 30%~75%,产品 pH 为 4.4~6.0,水溶性>99%,总有效养分为 50%~60%。2002 年邵建华申请了水溶性全元复合肥及其生产方法专利<sup>[24]</sup>。肥料含有全溶于水的 N、P、K、Si、Ca、Mg、S、Fe、Cu、Mn、Zn、B、Mo 等植物生长必需的元素,利用多种螯合剂螯合中微量元素后复配而成。2003 年,刘键等申请了一种用于滴灌系统高效复合肥专利<sup>[25]</sup>,采用湿法磷酸与尿素反应生成磷酸脲,再添加少量其他养分,产品为粉状结晶,酸性较强。2004 年江北申请了高浓度全水溶氮磷钾多元肥专利<sup>[26]</sup>,由磷酸二氢钾、磷酸铵、硝酸钾、磷酸脲、尿素以及铁、铜、锰、钼酸铵、硼砂、硫酸锌等组成,多元复混肥总养分( $N + P_2O_5 + K_2O$ ) $\geq 60\%$ ,水不溶物 $\leq 2.0\%$ ,多种水溶性微量元素总量 $\geq 0.2\%$ 。2005 年李彦等申请了多养分水溶性固体复合螯合肥及其制备方法专利<sup>[27]</sup>,产品由磷酸一铵、尿素、氯化钾、氯化镁、硫酸铜、硫酸锌、硫酸亚铁、硫酸锰、硼酸、柠檬酸钙、复合螯合剂、酸度调节剂、氯化铵等制备而成;晶核物质是氯化铵与氯化钾 2:1 混合物,占各组分总量的 5%~8%。2005 彭良志等申请了用于紫色土区柑橘滴灌系统的复合肥料专利<sup>[28]</sup>,产品由尿素、氯化钾、硝酸镁、硝酸锌、螯合铁、硼砂等组成,多元素合理配比,产品肥效平衡。2006 年石称华申请了全元高浓度水溶性长效复合肥料专利<sup>[29]</sup>,肥料包含以下 4 类组分:A 含水溶性无机氮、磷和钾的混合物或化合物;B 含水溶性钙、镁元素和其他无机物;C 含水溶性铜、铁、锰、锌、钴螯合态微量元素及硼、钼元素的无机盐;D 铺展渗透剂、硝化抑制剂、脲酶抑制剂和防结块剂等。2007 年李涛申请了一种含腐植酸的水溶性肥料专利<sup>[30]</sup>,采用腐植酸钾代替腐植酸钠。2009 年罗国征申请了大量元素水溶性肥料专利<sup>[31]</sup>,大量元素含量  $N \geq 25\%$ 、 $P_2O_5 \geq 10\%$ 、 $K_2O \geq 15\%$ ,微量元素含量  $Mn \geq 0.14\%$ 、 $Zn \geq 0.18\%$ 、 $B \geq 0.18\%$ 、 $Mg \geq 0.15\%$ ,有机质 42%。2009 年石文杰申请了一种多功能多元素水溶性固体浓缩肥料专利<sup>[32]</sup>,由尿素、磷酸一铵、可溶性钾盐、四硼酸钠、硫酸锰、硫酸铜、硫酸锌、钼酸铵、稀土、羟基纤维素等组成,具有成本低、实用、营养高、生态环保、利于推广等特点。2009 年陈云等申请了水溶性腐植酸多元固体肥料专利<sup>[33]</sup>,肥料主要由水溶性

腐植酸、水溶性氮肥、水溶性磷肥、水溶性钾肥、水溶性络合微量元素配制而成,使用时能快速溶解而不易结块,随水施用,养分含量高、营养全、有机无机结合。2010 周志勇申请了一种水溶性化肥专利<sup>[34]</sup>,产品由尿素、磷酸化合物、硫酸盐、硼砂、钼酸铵和聚丙烯化合物等组成,施用后可形成稳定性的土壤团聚颗粒结构,改善各种营养元素在土壤中的化学物理环境,增加土粒表面的吸附量,增加各种营养物质的加合作用。2011 年陈忠慧申请了一种抗农作物早衰的水溶性肥料专利<sup>[35]</sup>,将化肥中的氮、磷、钾、镁、铁、锌进行科学配比,特别是农作中后期对氮、钾、镁、铁、锌的补充可以满足农作物花、茎和果实的养分需要,提高功能叶的寿命,提高植株的抗病虫能力,提高农产品的产量和品质。另外,陈忠慧申请了豆类作物专用水溶性肥料专利<sup>[36]</sup>,将磷酸一铵、磷酸二铵、硝酸钾、磷酸二氢钾、硫酸镁、四水八硼酸钠、乙二胺四乙酸铜钠、乙二胺四乙酸锰钠、乙二胺四乙酸锌钠、乙二胺四乙酸铁钠、钼酸钠、柠檬酸及柠檬酸钠按一定比例混合,形成适合于豆类作物的水溶性肥料。2011 年张铭强申请了一种活化土壤、可免耕的水溶性复合肥料及其制备方法专利<sup>[37]</sup>,产品由尿素、磷酸二氢钾、腐植酸、枯草芽孢杆菌菌剂等组成,既具有速效性又具有长效性,既能为作物直接提供营养又能激活土壤中被固定的营养,既能活化土壤又能抑制土壤病菌。2011 年王晓春等申请了一种全水溶性尿基复合肥与一种全水溶性硝基复合肥专利<sup>[38-39]</sup>。水溶性尿基复合肥主要由尿素和助溶剂、工业磷酸一铵(或磷酸二氢钾)、硫酸钾、中微量元素添加剂混配而成;全水溶性硝基复合肥以改性硝铵和/或硫酸铵为氮源、以工业磷酸一铵或磷酸二氢钾为磷源、以氯化钾和/或硫酸钾为钾肥、以 EDTA 络合物或硼肥为中微量元素添加剂。其制备方法主要包括制浆、造粒、冷却和包膜等工序。2012 年刘朝阳等申请了干旱地区玉米专用水溶性肥料专利<sup>[40]</sup>,肥料由磷酸二氢钾、水溶性硫酸钾镁、稳定性缓释尿素、改性黄腐酸、粉状螯合硫酸锌精密混合而成,主要适用于干旱土壤,配合高效节水玉米膜下滴灌技术使用,实现施肥与灌溉一体化。

## 2 生产技术分析

**2.1 生产原料选择** 在水溶性肥料生产中,原材料选择非常重要。与常规复合肥料相比,生产水溶性肥料的主要原料中磷、氮、钾源原料选择略有不同,中微量元素加入情况也有所差异。

水溶性肥料原料选择需关注 2 个方面的技术指标:一是肥料的盐指数,尽可能选用低盐指数的肥料品种;二是肥料的水不溶物含量,国内水溶性肥料标准中水不溶物规定为小于 5%,实际上对不同应用场合要求是不一样的,如用于滴灌施肥,一般要求水不溶物低于 0.5%。

有研究表明,对于多数温室作物,不同 N 素的组合形态可提供最大化的效率。国外水溶性肥料产品中氮素多采用组合方式,尽可能通过磷酸一铵、硝酸盐提供铵态 N 和硝态 N,不足部分采用尿素补足。在水溶性肥料生产,磷酸铵中引入的各种杂质是水不溶物的主要来源。常见主要磷源原料

有工业级磷酸一铵、工业级磷酸二铵、磷酸二氢钾、磷酸脲、聚磷酸铵。国外产品钾源多采用硝酸钾,硫酸钾采用较少。从市场供应的常规钾肥来看,白钾杂质比红钾少。同时,在水溶性肥料配料中,磷酸二氢钾使用较多。磷酸二氢钾总养分( $K_2O + P_2O_5$ )为 86%,是配制 N、P、K 三元复混肥的优质基础原料。在水溶性肥料生产中往往会根据应用作物情况加入适量的中微量元素,有直接用含中微量元素的无机盐,也有许多情况下使用螯合态中微量元素,较多使用 EDTA 络合物或腐植酸、氨基酸等。水溶性肥料特别是液体水溶性肥料,如叶面肥,往往加入有机组份或悬浮助剂等。

总体来说,水溶性肥料生产常用原料主要有工业级磷酸一铵、工业级磷酸二铵、磷酸二氢钾、磷酸脲、聚磷酸铵、硝酸钾、硝酸铵、硝酸钙等。其中,工业级磷酸一铵规格如工业级 99% MAP 磷酸一铵(MAP12-61-00),工业级磷酸二铵规格如工业级 98% DAP 磷酸二铵(DAP 21-53-00),磷酸二氢钾规格如 99% MKP 磷酸二氢钾(MKP 00-52-34),磷酸脲规格如 98% UP 磷酸脲(UP 17-44-00)。

**2.2 固体水溶肥生产技术** 常规掺混固体粉状水溶肥生产通常包括物料破碎、筛分、计量、混合、包装等步骤,主要生产设备有破碎机、筛分机、输送机、混合机、包装机、计量称、除湿和除尘设备等。颗粒状水溶性肥料生产与复合肥生产类似,包括计量、混合、造粒、包膜等。

水溶性肥料生产过程中要注意混合的均匀性、肥料吸潮结块性、肥料溶解后抗硬水性、肥料各组份(大量元素、中微量元素、相关助剂与染色剂等)的可反应性与添加顺序等方面问题。为了防止中微量元素有效性的降低,投料时通常应先将中微量元素肥料与酸性肥料混合,再加入其他原料。生产环境中往往需要进行除湿与除尘处理。

目前,固体水溶肥在生产中需重点关注以下问题:①吸潮结块。固体水溶肥成品贮藏一段时间后易出现吸潮和结块。引起结块的原因主要有原料的吸潮性、含水(或含结晶水)、堆压重量大、生产环境相对湿度高、包装材料吸水性等。一般来说,含尿素、磷酸二氢钾、硫酸镁(带结晶水)、螯合微量元素的产品易吸潮结块。由于对水不溶物含量有限量要求,通常添加在常规复合肥中的抗结块剂不能用于水溶性肥料。②胀气。包装后的固体水溶肥成品在较高温度环境(如夏天)下放置一段时间,有时袋内产生的气体可将包装鼓起或胀破。含尿素的水溶肥产品往往易出现胀气。气体成份主要为二氧化碳。常用解决办法是采用透气性包装材料。③包装材料腐蚀。一些肥料配方组份可对包装材料造成腐蚀。包装前须做试验,确保包装材料合格、耐用。

**2.3 液体水溶肥生产技术** 液体水溶肥生产主要通过溶解、螯合等工序,将各种营养组份、助剂、活性物质等成分溶解到水中,加工成液体剂型。生产工艺过程包括水质净化、原料称量与溶解、营养组份螯合与复配、酸碱度检验及调整、透明度检验、养分含量检测、灌装等。生产设备主要有原料溶解槽、搅拌混合槽或反应釜、储存罐、灌装设备等。

液体水溶肥的生产比固体水溶肥相对复杂。由于所有

成分要溶解于水中,其养分含量受到很大的限制。在液体水溶肥生产过程中,要关注生产用水的水质情况、工艺操作条件(如加料顺序、反应时间与温度等)、pH 变化以及微量元素的溶解度等。液体水溶性肥料研究开发重点是提高养分含量,优化生产工艺(尤其螯合、匀质、过滤等工艺),解决产品结晶析出、胀气等问题,进行促溶剂、稳定剂、吸收助剂等方面研究开发工作。

液体肥料生产经常出现以下问题。①结晶。尽管液体水溶肥生产时养分元素处于完全溶解状态,但遇外界条件的改变时可能出现养分元素处于过饱和状态,导致结晶产生。结晶体有快速生长和缓慢生长的差异,一个液体肥料新配方通常要观察半年至一年时间。②分层。悬浮性肥料经一段时间的放置后可能出现分层,原因是粒子大小的不均匀性。解决的办法是使粒子直径尽可能小,并使用合适的悬浮剂。③黏度增加与流动性变差。在高盐浓度下,当温度降低时,悬浮性液体肥料往往出现黏度升高、流动性显著降低的情况,肥料使用时不易倒出。④胀气。这是液体水溶肥包装中易出现的问题。解决办法有增加包装瓶抗压强度、调整肥料酸碱度(如偏碱性有于减少气胀)、减少尿素等肥料的使用量、采用有适度透气性的包装材料等。

水溶性肥料开发与生产难点主要有:①肥料的水溶性,尤其是磷的水溶性问题,要求磷完全溶解,又不能与灌溉水中的溶质(尤其是硬度高的水)发生沉淀;②水溶性专用肥料多种营养元素的合理配比和有关元素之间的拮抗;③水溶性专用肥料在应用时农户所能承受的投入成本。

### 3 结论

随着农业集约化、规模化发展以及滴灌、喷灌节水设施农业面积的迅速扩大,水溶性肥料日益受到重视,发展前景广阔。对于水溶性肥料,原料的选择非常重要,是决定产品水溶率(或水不溶物含量)、成本、营养适应性的关键因素。在生产中,要特别注意肥料吸潮结块性、肥料各组份的可反应性等方面。一种成功的水溶肥产品的优势应该体现在 2 个方面:一是根据作物生长的营养需求来设计配方,精心选择原料和生产工艺,产品水溶率必须远高于普通化肥,一般要达到 98% 以上;二是成本方面应得到有效控制,价格合理,在使用投入产出比要高。

### 参考文献

- [1] 李代红,傅送保,操斌. 水溶性肥料的应用与发展[J]. 现代化工,2012, 32(7):12-15.
- [2] MACBRIDE J E. Soluble fertilizer composition;US,3197302 [P]. 1965-07-27.
- [3] BOLES J L. Production of high-grade nitrogen-sulfur suspension fertilizer; US,4762546[P]. 1988-08-09.
- [4] PETERS R,VETANOVEITZ R P. Improved solubility compound fertilizer compositions;EP,0771774[P]. 1997-05-07.
- [5] AIJALA H,AHLNAS T. Suspension fertilizer suitable for irrigation fertilizer, and a process for its preparation;US,5851260[P]. 1998-12-22.
- [6] HANNU AIJALA. Aqueous fertilizer suspension containing at least phosphate ions and calcium or magnesium ions and a use of the suspension; US,5997602[P]. 1999-12-07.
- [7] 阿扎拉 H. 一种至少含有磷酸根离子和钙或镁离子的水基化肥悬浮液及其应用;CN,96195752.2[P]. 1996-06-20.
- [8] ELTINK M G,ROIJ P V. Water soluble fertilizer compositions; US,

6312493B1[P].2001-11-06.

[9] SVEC C H,VIDYARTHI A. Soluble fertilizer formulation;US,6241795B1[P].2001-06-05.

[10] SABATINI N. Water soluble complex fertilizers,method for their preparation and related use;US,6733560B1[P].2004-05-11.

[11] YOSEF A,OREN Y,YAGIL Y. Soluble fertilizer compositions comprising calcium and/or magnesium phosphates;US,7828871[P].2007-03-08.

[12] YOSEF A,OREN Y,YAGIL Y. Soluble and solubilizing,free-flowing, solid fertilizer compositions, and the preparation thereof;US,7967889B2[P].2011-06-28

[13] VRIESEMA H H,TERLINGEN J G A. Fast dissolving water-soluble fertilizer formulations and methods and uses thereof;US,2010/018471A1[P].2010-07-29.

[14] 弗里瑟玛 H H,泰林根 J G A. 速溶水溶性肥料制剂及其方法和用途:CN,201080009919.7[P].2010-01-27.

[15] WELLS G D. Fertilizer suspension and method of preparation;US,8110017B2[P].2012-02-07.

[16] WELLS G D. Fertilizer suspension and method of preparation;US,8197572B2[P].2012-06-12.

[17] 杰弗里·迪伦·威尔斯. 肥料悬浮液及其制备方法:CN,200980116819.1[P].2009-03-11.

[18] 卢丽萍,张丽华,李彦,等. 高浓度多元液体肥料及其制备方法:CN,01114978.7[P].2001-06-22.

[19] 张小勇,莫海涛,赵华,等. 滴灌酸性液体肥料:CN,02117185.8[P].2002-04-25.

[20] 汪鹤亭. 一种含腐殖酸的液态高浓度水溶性肥料:CN,201010530414.7[P].2010-11-03.

[21] 刘孝富,刘云海,刘孝贡. 性能稳定的多元高浓度液体肥料的制备方法:CN,201110299769.4[P].2011-09-29.

[22] 杨玉. 一种高浓度多元液体肥料及其制备方法:CN,201210143859.9[P].2012-05-10.

[23] 尹飞虎,陈云,温新民. 喷滴灌用肥及其生产方法:CN,99123097.3[P].1999-12-07.

[24] 邵建华. 水溶性全元复合肥及其生产方法:CN,02137923.8[P].2002-07-09.

[25] 刘健,杜建伟,陈蓝天,等. 一种用于滴灌系统高效复合肥的制备方法:CN,03104807.2[P].2003-02-20.

[26] 江北. 高浓度全水溶氮磷钾多元肥:CN,200410040368.7[P].2004-08-04.

[27] 李彦,高贤彪,卢丽萍,等. 多养分水溶性固体复合螯合肥及其制备方法:CN,200510044289.8[P].2005-08-22.

[28] 彭良志,淳长品,江才伦,等. 用于紫色土区柑橘滴灌系统的复合肥料及其制备方法:CN,200510057356.X[P].2005-11-02.

[29] 石称华. 全元高浓度水溶性长效复合肥料及其制造方法:CN,200610030516.6[P].2006-08-29.

[30] 李涛. 一种含腐殖酸的水溶性肥料的制备方法:CN,200710017334.X[P].2007-02-01.

[31] 罗国征. 大量元素水溶性肥料:CN,200910262916.3[P].2009-12-14.

[32] 石文杰. 一种多功能多元水溶性固体浓缩肥料:CN,200910014995.6[P].2009-05-06.

[33] 陈云,樊庆鲁,尹飞虎,等. 水溶性腐植酸多元固体肥料及其生产方法:CN,200910130413.0[P].2009-04-04.

[34] 周志勇. 水溶性化肥:CN,201010609076.6[P].2010-12-28.

[35] 陈忠慧. 一种抗农作物早衰的水溶性肥料及其制备方法:CN,201110409049.9[P].2011-12-08.

[36] 陈忠慧. 豆类作物专用水溶性肥料、其制备方法及应用方法:CN,201110406850.8[P].2011-12-07.

[37] 张铭强. 一种活化土壤、可免耕的水溶性复合肥料及其制备方法:CN,201110191201.0[P].2011-07-08.

[38] 王晓春,罗冬贵. 一种全水溶性尿基复合肥及其制备方法:CN,201110268314.6[P].2011-09-09.

[39] 王晓春,罗冬贵. 一种全水溶性硝基复合肥及其制备方法:CN,201110268199.2[P].2011-09-09.

[40] 刘朝阳,王希君. 干旱地区玉米专用水溶性肥料:CN,201210148010.0[P].2012-05-15.

(上接第 7503 页)

些养分。已有研究成果表明,氮磷钾配施可以极显著提高小麦单位面积穗数、穗粒数和千粒重,三者共同作用致使小麦产量极显著提高<sup>[14]</sup>。该研究表明,磷、钾肥作种肥一次性施用还是能提高小麦分蘖能力,增加穗粒数和千粒重。氮、磷、钾肥经济、科学、合理的最优施用方式是:16%过磷酸钙 525 kg/hm<sup>2</sup> 和 50%硫酸钾 225 kg/hm<sup>2</sup> 作种肥一次性施用;46%尿素 150 kg/hm<sup>2</sup> 作种肥,225 kg/hm<sup>2</sup> 作分蘖肥,225 kg/hm<sup>2</sup> 作拔节肥。

该研究结果可为类似云南省保山市低纬度高海拔“小麦—水稻”种植制度区域的小麦科学施肥提供参考。试验采用裂区试验的设计,在主区、副区相关水平的试验上具有一定的代表性。裂区试验统计分析也是研究小麦高产施肥方式行之有效的方法之一。但是,小麦高产还与气候、品种、适宜的播期、播种量(合理密植)、肥水协调和病虫害防治等措施或因素有着重要的关联。因此,今后还应进一步开展研究,使得研究成果更加完善,更具有实际的操作意义。

参考文献

[1] 黄绍敏,宝得俊,皇甫湘荣,等. 不同栽培因子对河南潮土上小麦产量

的影响[J]. 麦类作物学报,2005,25(5):69-74.

[2] 刘更另. 营养元素循环和农业持续发展[J]. 土壤学报,1992,29(3):254-256.

[3] 林葆,林继雄,李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[J]. 植物营养与肥料学报,1994(1):6-17.

[4] 王曙光,许轲,戴其根,等. 氮肥运筹对太湖麦区弱筋小麦宁麦9号产量与品质的影响[J]. 麦类作物学报,2005,25(5):65-68.

[5] 马新明,张娟娟,熊淑萍,等. 氮肥用量对不同品质类型小麦品种籽粒灌浆特征和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2005,25(6):72-77.

[6] 胡凤桂,黄占亮,李宏松. 寿县小麦“3414”田间肥效研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(13):5527-5531.

[7] 陈正刚,朱青,王文华,等. 贵州高海拔地区氮磷钾平衡施肥对小麦产量的影响[J]. 贵州农业科学,2006,34(4):39-41.

[8] 张海竹,张永清,张建平,等. 氮、磷、钾肥对强筋小麦产量与品质的影响[J]. 麦类作物学报,2008,28(3):457-460.

[9] 冯金凤,张保军,赵广才,等. 氮磷钾肥对小麦产量及主茎维管束的影响[J]. 麦类作物学报,2012,32(5):923-925.

[10] 秦海英,程献云,程星. 氮磷钾施肥量及时期对高产小麦产量的影响[J]. 农业科技通讯,2010(6):39-41.

[11] 马育华. 田间试验和统计方法[M]. 北京:农业出版社,1989:178-185.

[12] 潘庆民,于振文. 追氮时期对冬小麦籽粒品质和籽粒产量的影响[J]. 麦类作物学报,2002,22(2):65-69.

[13] 李娜娜,刘园,谢迎新,等. 水氮对冬小麦花后籽粒含量及籽粒产量的影响[J]. 麦类作物学报,2013,33(1):103-107.

[14] 刘兆丽,王建林. 施肥对小麦产量结构的影响[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2008(3):189-192.