

# 硫素施用量对小麦品质影响的研究进展

柳甄<sup>1,2,3</sup>, 相微微<sup>1,2,3</sup>, 张怀刚<sup>1,2\*</sup> (1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海西宁810001; 2. 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 青海西宁810001; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要** 介绍了硫素施用量对小麦营养品质和加工品质的影响, 并就目前存在的问题提出今后的研究方向。

**关键词** 小麦; 品质; 硫素

中图分类号 S512.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)07-03063-02

## Research Advance on the Effects of Sulphur Fertilization Amount on Wheat Quality

LIU Jin et al (Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810001)

**Abstract** The effects of sulphur fertilization amount on the nutritional quality and processing quality of wheat were introduced. According to the current problems, the future research directions were proposed.

**Key words** Wheat; Quality; Sulphur

硫是小麦生长所必需的矿质营养元素之一<sup>[1]</sup>, 既是叶绿素、谷胱甘肽等合成的必需元素, 又影响着半胱氨酸、甲硫氨酸等的合成代谢和蛋白质中二硫键的形成<sup>[2]</sup>, 对小麦的营养品质和加工品质有着重要影响。近年来, 由于高纯度氮肥的大量施用和传统有机肥料用量的减少, 加之小麦产量及复种指数的提高, 使得世界上70多个国家的部分耕地从20世纪80年代开始就出现了缺硫现象。我国有400万 $\text{hm}^2$ 耕地缺硫, 超过耕地面积的30%, 潜在的缺硫面积也达到了400万 $\text{hm}^2$ , 严重威胁着小麦的正常生产<sup>[3]</sup>。为此, 国内外学者进行了大量研究, 旨在找出小麦生长中硫素的吸收规律, 阐明硫素施用量对小麦产量和品质的影响。

关于硫素施用量与产量的关系, 目前的研究认为, 在一定范围内, 小麦的产量随着施硫量的增加而提高<sup>[4]</sup>, 且在60 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 施硫水平下单位面积产量最高<sup>[5]</sup>。而关于硫素施用量与小麦品质的关系, 尽管报道的研究较多, 但各个研究的侧重点均不相同, 甚至不同学者对同一问题的研究结果也存在着较大分歧。鉴于此, 笔者对关于硫素施用量与小麦品质关系的报道进行了系统总结, 以期为广大小麦研究者提供参考。

## 1 硫素施用量对小麦营养品质的影响

### 1.1 硫素施用量对籽粒氨基酸组成及含量的影响

由于小麦对氮和硫的吸收存在着协同作用<sup>[6-8]</sup>, 因此硫肥的施用不仅影响着含硫氨基酸的合成, 同样也影响着不含硫氨基酸的合成代谢。早在1984年, Wigley等就对施硫和籽粒氨基酸含量的关系进行了研究, 发现缺硫小麦籽粒中半胱氨酸和甲硫氨酸的浓度与富硫小麦籽粒相比分别成倍降低<sup>[9]</sup>; 1987年Byers等研究了缺硫对氨基酸组成的影响, 发现缺硫情况下籽粒中半胱氨酸和甲硫氨酸的浓度均有降低, 且半胱氨酸的降低程度大于甲硫氨酸<sup>[10]</sup>。2002年刘宝存等也对此进行了研究, 发现当施硫量为60 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 时, 含硫的甲硫氨酸含量比对照(不施硫肥)增加0.5个百分点。不含硫的天门冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸等含量因

硫肥的施用而有所提高, 但是达到最大含量的硫肥用量差别很大<sup>[11]</sup>。2004年赵首萍等研究表明, 在较高氮肥施用水平下, 硫可以提高不同品种的总氨基酸和含硫氨基酸含量, 且含硫氨基酸含量与其他品质参数呈正相关<sup>[12]</sup>。由此可见, 硫素的施用在一定范围内与籽粒含硫氨基酸的含量呈正相关, 并且会提高总氨基酸的含量。

### 1.2 硫素施用量对籽粒蛋白质组成及含量的影响

醇溶蛋白和谷蛋白是小麦籽粒储藏蛋白的主要组成部分。Zhao等1999年的研究表明, 在高氮(230 $\text{kg}/\text{hm}^2$ )条件下, 硫肥处理增加了谷蛋白总量, 但对籽粒粗蛋白没有明显影响<sup>[13]</sup>。2003年, 赵首萍等以6个不同品质类型的春小麦为材料, 研究了在不同氮水平下施硫对小麦籽粒蛋白质含量和储藏蛋白含量的调节效应, 发现施硫对籽粒蛋白质含量的影响与氮施用水平有关, 在高氮条件下施硫可以增加籽粒蛋白质含量, 尤其是有利于高蛋白品种籽粒蛋白质含量的提高; 低氮条件下施硫对醇溶蛋白含量的作用呈正效应; 施硫可以增加籽粒谷蛋白含量, 但只有在高氮条件下, 施硫才有利于谷蛋白含量的提高; 在高氮条件下, 如果硫肥用量不足, 谷蛋白含量反而不如低氮水平下供应适量的硫肥处理, 且不同品种最适用的氮硫施用量和比例均不相同<sup>[14-15]</sup>, 这与韩占江等的研究结果相一致<sup>[16]</sup>。王东等2003年的研究表明, 施硫67.5 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 促进了籽粒谷蛋白积累, 显著提高籽粒蛋白质含量, 籽粒总蛋白含量提高, 但对醇溶蛋白的积累影响较小; 增加施硫量至90 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 对醇溶蛋白积累有促进作用而对谷蛋白积累不利, 籽粒总蛋白含量亦不再显著提高<sup>[17]</sup>。以上研究中所施用的硫肥均为硫酸盐, 而关于亚硫酸盐对小麦籽粒蛋白的调节效应研究较少。2002年王宪泽等以2个产量相近但蛋白质含量相差较大的品种为材料, 研究了不同施硫量与其籽粒蛋白质含量的关系, 结果表明, 在灌浆期喷洒低浓度亚硫酸氢钠虽然会提高籽粒产量, 但却使籽粒蛋白质含量下降; 且高蛋白品种在处理与对照情况下的籽粒蛋白含量均高于低蛋白品种<sup>[18]</sup>。关于籽粒蛋白降低的机理, 他们推测可能是由于喷洒浓度亚硫酸氢钠改变了叶片的光合磷酸化状态<sup>[19]</sup>, 从而影响到了籽粒蛋白质的合成。由上可见, 不同种类小麦籽粒蛋白对硫素的敏感性不同, 不同施硫量可以增加特定类型籽粒蛋白的含量, 从而改变籽粒蛋白的组分。

### 1.3 硫素施用量对籽粒淀粉组分及含量的影响

由于施硫

基金项目 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YWN052); 国家科技支撑计划课题(2007BAD52B08); 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW03); 青海省重点科技攻关(2005-N183)。

作者简介 柳甄(1983-), 男, 甘肃灵台人, 博士研究生, 研究方向: 小麦遗传育种及分子生物学。\* 通讯作者, 研究员, 博士生导师, E-mail: hgzhang@nwpb.ac.cn。

收稿日期 2008-12-19

有利于提高小麦叶片的净光合速率,提高叶片可溶性糖和蔗糖含量及“源”器官碳同化物的供应能力,因此可促进籽粒中可溶性糖和蔗糖的合成和转化,加速籽粒中淀粉的合成和积累,从而显著提高籽粒淀粉含量<sup>[20]</sup>。给缺硫的土壤追施硫肥可提高籽粒中淀粉合成酶的活性,增加籽粒淀粉积累量,改善淀粉糊化特性<sup>[21]</sup>。

韩占江等以3个不同品质类型春小麦为材料,在不同氮水平下研究了施硫对小麦籽粒淀粉含量的调节效应,发现施硫对籽粒淀粉具有调节作用,但这种调节作用的发挥要以一定的氮水平为基础;在不同氮水平下,获得最高籽粒淀粉含量所需要的施硫量并不相同<sup>[22]</sup>;在高氮水平下施硫有利于降低直链淀粉与支链淀粉的比例,改善淀粉组分<sup>[16,22]</sup>。

沈学善等以弱筋小麦品种豫麦50为材料,研究了硫素施用对籽粒淀粉特性的影响。结果表明,氮、硫及其互作对籽粒淀粉组分、含量和直支比的影响均达到了极显著水平,硫肥对稀懈值和糊化温度的影响达到了显著和极显著水平。每公顷施纯氮240 kg和纯硫20~60 kg可提高总淀粉和支链淀粉含量,降低直链淀粉含量和直支比;每公顷施纯氮150 kg和纯硫20 kg可以提高峰值粘度、低谷粘度和最终粘度,改善淀粉品质<sup>[23]</sup>,这与朱云集等的研究结果相一致<sup>[24]</sup>。并且,朱云集等的研究中还提出,达到最高产量与最佳淀粉品质的氮硫配施量并不完全一致<sup>[24]</sup>。

## 2 硫素施用量对小麦加工品质的影响

目前国内外的研究均表明,硫对小麦品质的影响是以一定的施氮量为基础的<sup>[25]</sup>。在不施氮肥的情况下,硫对小麦品质的影响不显著<sup>[26]</sup>;在一定的氮水平条件下,施用一定量的硫素对小麦的加工品质均有正向作用。

**2.1 硫素施用量对面筋含量和沉降值的影响** 由于施硫量对籽粒中氨基酸组成和含量有着重要影响,而含硫氨基酸如半胱氨酸和甲硫氨酸在蛋白质合成和二硫键形成中发挥着主要作用。因此施硫量在一定程度上也决定着面团的弹性及延展性,进而影响着面团的加工品质。韩新文等的研究表明,施硫量不同对小麦籽粒的湿面筋含量和沉降值有着明显影响<sup>[27]</sup>,这与李玉影等的研究结果一致<sup>[28]</sup>。王东等的研究也表明,施硫会使湿面筋含量显著提高<sup>[29]</sup>。刘万代等的研究却提出,施硫会提高面团流变学特性,但却使湿面筋的含量下降<sup>[30]</sup>。

韩占江等利用盆栽试验对施硫量与不同品质类型春小麦降落数值的关系进行了研究,结果表明,不同的氮硫处理对小麦降落数值的影响显著;在不同氮素水平条件下,施硫量与小麦降落数值的相关关系较为复杂,不同品种的表现差异很大<sup>[31]</sup>。

**2.2 硫素施用量对面团流变学特性的影响** 硫素施用量对面团流变学特性有重要影响,胡尚连等以3个不同蛋白质含量的春小麦品种为材料,在不同施氮水平条件下研究了施硫对面团流变学特性的调节效应。结果表明,不论是低氮还是高氮条件下,各品种面团韧性随着施硫量的增加总体上呈降低趋势。高氮条件下,施硫对高蛋白品种面团延展性提高不利,且降低吸水率,但可以增加面团形成时间;施硫对各品种稳定时间的作用趋势与面团形成时间的作用趋势相同。低

氮条件下施硫可增加所有供试品种面团形成时间,改善面团延展性;高氮条件下,施硫可以明显提高高蛋白品种面团形成时间和稳定时间,但对低蛋白品种的作用却相反<sup>[32]</sup>。

朱云集等以豫麦49为材料,研究了硫肥施用对其品质的影响,发现施硫促进籽粒灌浆过程中的麦谷蛋白积累量,有利于改善小麦的烘烤品质<sup>[33]</sup>,这与李玉影等的研究结果也基本一致<sup>[28]</sup>。谢迎新等以2种穗型的冬小麦品种为材料,对硫素对其品质的影响进行了研究,发现不同品种对硫肥的反应有很大差异,但总体上还是呈正效应<sup>[34]</sup>。

## 3 目前存在的问题及今后的研究方向

尽管关于硫素施用量对小麦品质影响的研究目前已较多,并取得了一定成果,但还存在着以下两个方面的问题:一是目前关于施硫与氨基酸含量、蛋白质含量与组成、淀粉组分、面筋含量等参数的研究较多,而关于施硫与面团流变学特性的关系的研究相对较少,而面团流变学特性则直接反映着面粉最终的加工和食用品质,因此应加强此方面的研究;二是已见报道的试验系统均较为粗放,大都是以大田试培为基础,也有极少数是以土壤为基质的盆栽试验。但由于大田试验条件下降雨、温度等条件的不可控,加之土壤中营养元素存在着被其他有机体的转化和分解,使得试验结果略欠精确。因此,应开展大规模的可控环境下的以无土栽培为基础的试验,以便对硫素施用量与各种营养参数和品质参数的关系进行更为全面、系统和精确的研究。

## 参考文献

- [1] WESER H, GUISE R, VONTUCHERS. Influence of sulphur fertilization on quantities and proportions of gluten types in wheat flour[J]. *Journal of Cereal Science*, 2004, 40: 239 - 244.
- [2] ZHAO F J, HAWKESFORD M J, MCGRATH S P. Sulfur assimilation and effects on yield and quality of wheat[J]. *Journal of Cereal Science*, 1999, 30: 1 - 17.
- [3] FAN M X, MESSICK D L, 马常宝, 等. 全球土壤缺硫与硫肥应用情况[J]. *中国农技推广*, 2008, 24(8): 31 - 33.
- [4] WITHERS P J A, ZHAO F J, MCGRATH S P, et al. Sulphur inputs for optimum yields of cereals[J]. *Aspects of Applied Biology*, 1997, 50: 191 - 198.
- [5] 马春英, 李雁鸣, 韩金玲. 不同施硫量对冬小麦光合特性和产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(2): 211 - 217.
- [6] 李国强, 朱云集, 郭天财, 等. 氮硫配施对强筋小麦豫麦34籽粒灌浆特性的影响[J]. *麦类作物学报*, 2006, 26(2): 98 - 102.
- [7] 刘宝存, 孙明德. 氮硫交互作用对小麦苗期生长和养分吸收的影响[J]. *华北农学报*, 2002, 17(3): 90 - 93.
- [8] KETLEWELL P S, GRIFITHS M W, HOCKING T J, et al. Dependence of wheat dough extensibility on flour sulphur and nitrogen concentration and the influence of foliar-applied sulphur and nitrogen fertilizers[J]. *Journal of Cereal Science*, 1998, 28: 15 - 23.
- [9] WRIGLEY C W, DUCROS D L, FULLINGTON J G, et al. Changes in polypeptide composition and grain quality due to sulfur deficiency in wheat[J]. *Journal of Cereal Science*, 1984, 2: 15 - 24.
- [10] BYERS M, FRANKLIN J, SMITH S J. The nitrogen and sulphur nutrition of wheat and its effect on the composition and baking quality of the grain[J]. *Aspects of Applied Biology*, 1987, 15: 337 - 344.
- [11] 刘宝存, 孙明德, 吴静, 等. 硫素营养对小麦籽粒氨基酸含量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(4): 458 - 461.
- [12] 赵首萍, 胡尚连, 杜金哲, 等. 硫对不同品质春小麦湿面筋和沉降值及氨基酸的效应[J]. *作物学报*, 2004, 30(3): 236 - 240.
- [13] ZHAO F J, SALMONS E, WITHERS P J A, et al. Variation in the breadmaking quality and rheological properties of wheat in relation to sulphur nutrition under field conditions[J]. *Journal of Cereal Science*, 1999, 30: 19 - 31.
- [14] 赵首萍, 胡尚连, 李文雄, 等. 硫对春小麦不同品质类型籽粒蛋白质及储藏蛋白含量的效应[J]. *作物学报*, 2003, 29(6): 847 - 852.
- [15] 赵首萍, 胡尚连, 李文雄, 等. 硫对春小麦不同品质类型籽粒蛋白质含量的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2003, 34(4): 363 - 367.
- [16] 韩占江, 王伟华, 胡尚连, 等. 硫对小麦籽粒蛋白质和淀粉含量的影响[J]. *河南科技学院学报: 自然科学版*, 2006, 34(1): 18 - 21.

白,需要重复进行多次才能有较好的脱除效果,经6次处理后,蛋白质去除率达78.8%,而多糖损失率也高至60.8%。三氯乙酸作为一种有机酸,能使蛋白质变性沉淀,以达到脱除蛋白质的目的<sup>[8]</sup>,但蛋白质去除率不高,仅50.8%。

采用酶法和Seveage法结合使用的方法,既可以有效地脱除蛋白质,又能较好地保留多糖。经木瓜蛋白酶处理后,绝大部分游离蛋白质及部分与多糖结合的蛋白质被水解,因此多糖沉淀中蛋白质的含量大为降低,且酶解后只需用Seveage试剂处理1~2次即可将蛋白质有效除去,从而能减少

多糖的损失。因此,酶和Seveage相结合法是比较理想的脱蛋白方法。

**2.5 苦瓜多糖脱蛋白前后的紫外光谱分析** 采用酶法和Seveage法结合脱蛋白。取脱蛋白前后的粗多糖在200~400 nm做紫外-可见吸收光谱扫描,结果见图5。

由图5可知,未经除蛋白处理的苦瓜粗多糖溶液在280 nm处有明显的蛋白特征吸收峰,而脱蛋白后在280 nm处无特别明显吸收峰,说明酶法和Seveage法结合脱蛋白的效果显著。

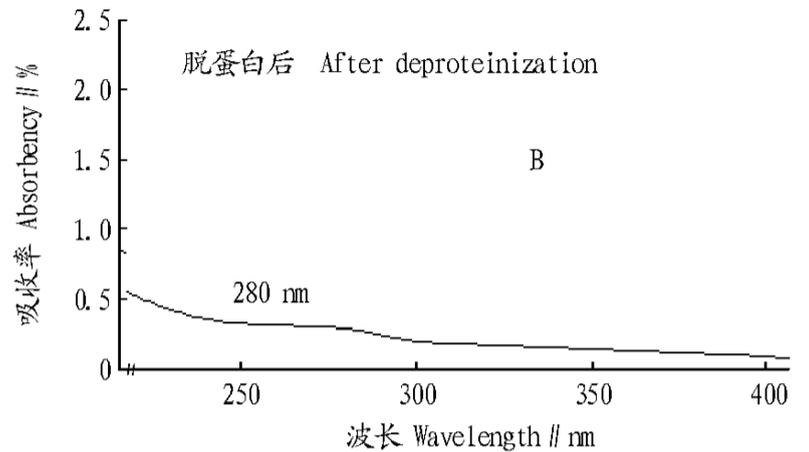
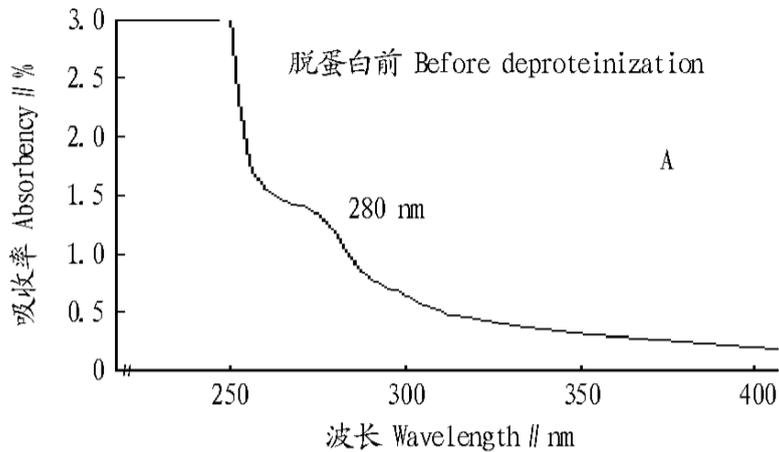


图5 苦瓜多糖脱蛋白前后的紫外光谱

Fig.5 The ultraviolet spectrum of *Momordica charantia* polysaccharide before and after deproteinization

### 3 讨论

近年,植物多糖的药理作用逐渐被人们所认识。但是,在研究植物多糖过程中,植物蛋白常影响植物多糖纯度,以致其药理研究出现较大差异。所以多糖脱蛋白是多糖纯化的关键。该试验结果表明,在Seveage法脱除蛋白质过程中,蛋白质与糖的变化趋势相同。在脱除蛋白质的同时,多糖中的糖随之损失,蛋白质和糖损失变化趋势十分相似。此外,Seveage法脱蛋白使用的试剂是氯仿和正丁醇,而氯仿是有毒物质,容易造成多糖活性下降和溶剂残留,可能影响其生物活性的研究,此方面仍需深入研究。值得注意的是,无论采用哪种脱蛋白方法,所得的多糖制品中都仍存在着20%以上的蛋白质成分。这可能是由于这部分蛋白质与多糖结合形成了糖蛋白复合物<sup>[8]</sup>,单靠Seveage法或酶解法不能使其脱除,如果要获得更为纯化的多糖制品,还需要经过其他一系列的精细分离纯化工艺,同时也可能要承担较高的多糖损失。但从多糖的生物学功能与其组成和结构的关系来看,也

可能正是由于多糖和这部分蛋白相结合或同时也结合了其他成分的糖蛋白复合物才真正具有在生物体内所发挥的重要作用,这方面有待于深入研究。

#### 参考文献

- [1] 高中松,丁文,彭密军,等. 苦瓜总皂甙的提取及含量测定[J]. 安徽农业科学,2006,34(4):608.
- [2] 何新益,刘仲华. 苦瓜多糖降血糖活性的高通量筛选研究[J]. 食品科学,2007,28(2):313-316.
- [3] 谢建华,谢明勇,聂少平,等. 青钱柳多糖提取工艺研究[J]. 食品科学,2007,28(10):188-191.
- [4] 谢建华,谢明勇,聂少平,等. 青钱柳中多糖的测定[J]. 分析实验室,2007,36(8):32-36.
- [5] 李峰,刘延吉,宗绪岩,等. 草本刺嫩芽根多糖脱蛋白方法研究[J]. 安徽农业科学,2006,34(1):9-10.
- [6] 王文平,郭祀远,李琳,等. 考马斯亮蓝法测定野木瓜多糖中蛋白质的含量[J]. 食品研究与开发,2008,29(1):115-117.
- [7] 郭颖娜,孙卫. 蛋白质含量测定方法的比较[J]. 河南化工,2008,31(4):36-37.
- [8] 谢建华. 青钱柳多糖的分离纯化与结构解析及其生物活性研究[D]. 南昌:南昌大学,2007.
- [9] 王东,于振文,王旭东,等. 硫素对冬小麦籽粒蛋白质积累的影响[J]. 作物学报,2003,29(6):878-883.
- [10] 王宪泽,张树芹,田纪春,等. 喷洒亚硫酸氢钠对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响[J]. 中国农业科学,2002,35(3):277-281.
- [11] 王宏伟,魏家绵,沈允钢. 喷洒低浓度亚硫酸氢钠可促进小麦叶片光合磷酸化和光合作用[J]. 科学通报,2000,45(4):394-398.
- [12] 祝小捷,朱云集,刘小平,等. 施硫对小麦旗叶糖含量和籽粒淀粉积累的影响[J]. 麦类作物学报,2008,28(3):471-475.
- [13] 朱云集,沈学善,李国强,等. 硫吸收同化分配及其对小麦产量和品质影响的研究进展[J]. 麦类作物学报,2005,25(6):134-138.
- [14] 韩占江,王伟华,胡尚连,等. 硫对春小麦籽粒淀粉及其组分的效应[J]. 河南农业科学,2006(4):32-34.
- [15] 沈学善,朱云集,郭天财,等. 氮、硫配施对弱筋小麦籽粒淀粉特性的影响[J]. 西北植物学报,2006,26(8):1633-1637.
- [16] 朱云集,沈学善,李国强,等. 硫氮配施对弱筋小麦品种豫麦50籽粒产量和淀粉特性的影响[J]. 麦类作物学报,2007,27(2):271-275.
- [17] ILOC, BRANLARD G, GRIFFIN WB, et al. The effect of nitrogen and sulphur fertilization and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameter[J]. Journal of Cereal Science, 2000,31:185-194.
- [18] 赵广才,周阳,常旭虹,等. 氮磷钾硫对冬小麦产量及加工品质的调节效应[J]. 植物遗传资源学报,2005,6(4):423-426.
- [19] 韩新文,杨淑萍,张睿,等. 氮肥与硫肥施用对相同HMWGS组分春小麦产量与品质的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(1):280-285.
- [20] 李玉影,刘双全. 硫对春小麦产量和品质的影响[J]. 土壤肥料,2004(1):14-15.
- [21] 王东,于振文,樊广华,等. 硫素对冬小麦品质和产量的影响[J]. 山东农业科学,2000(6):10-12.
- [22] 刘万代,朱云集,谭金芳,等. 沙薄地追施硫肥对小麦产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(11):235-237.
- [23] 韩占江,王伟华,刘志华. 硫对不同品质类型春小麦降落数值的影响[J]. 河南科技学院学报:自然科学版,2005,33(4):20-22.
- [24] 胡尚连,李文雄. 硫对不同蛋白质含量春小麦面团流变学特性的调节效应[J]. 麦类作物学报,2007,27(2):266-270.
- [25] 朱云集,郭天财,谢迎新,等. 施用不同种类硫肥对豫麦49产量和品质的影响[J]. 作物学报,2006,32(2):293-297.
- [26] 谢迎新,朱云集,郭天财. 施用硫肥对两种穗型冬小麦品种群体生理、产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2003,23(1):44-48.

(上接第3064页)