

作物超高产品种生理及产量性状对施肥量的响应研究综述

王婷婷^{1,2}, 饶德民², 孟凡钢², 于德彬², 张鸣浩², 张伟^{2*}

(1. 吉林农业大学, 吉林长春 130118; 2. 吉林省农业科学院大豆研究所/国家大豆工程技术研究中心吉林分中心, 吉林长春 130033)

摘要 通过对相关资料的整理与分析, 阐述了玉米、水稻、小麦、大豆 4 种主要作物的光合作用、根系特性、品质产量等对施肥量的响应, 分析了未来作物栽培中进一步加强对施肥量研究的必要性和重要性, 并指出具体的施用量应从实际调查和生产经验的综合分析中确定, 作物生理和产量性状在合理的范围内随着施肥量的增加而增加, 肥料配比与作物品种、土壤类型、气候环境等因素密切相关。在不同的作物间, 相同作物的不同品种间的最佳施肥量因多种因素不同。基于已有研究成果, 今后需要在研究不同作物品种时具有针对性, 探索各品种最适宜施肥量和氮磷钾配比, 从而使肥料充分发挥其功效以达到节能减肥、增产增质的目的, 为作物超高产品种栽培方向研究及作物产量的提高和土壤的可持续耕作提供一定的科学依据和理论帮助。

关键词 施肥量; 产量; 光合作用; 叶面积指数; 氮肥

中图分类号 S 506 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2023)05-0001-04

doi: 10. 3969/j. issn. 0517-6611. 2023. 05. 001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

A Review of the Responses of Crop Ultra-High Product Species to Fertilization Rates

WANG Ting-ting^{1,2}, RAO De-min², MENG Fan-gang² et al (1. Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 2. Soybean Research Institute of Jilin Academy of Agricultural Sciences / Jilin Branch of National Soybean Engineering Technology Research Center, Changchun, Jilin 130033)

Abstract Through the collation and analysis of relevant data, this paper expounds the response of photosynthesis, root characteristics, quality yield, etc. of the four main crops of corn, rice, wheat and soybean to the fertilization amount, analyzes the necessity and importance of further strengthening the study of fertilization in future crop cultivation, and points out that the specific application amount should be determined from the actual investigation and comprehensive analysis of production experience, crop physiology and yield traits increase with the increase of fertilization within a reasonable range, fertilizer ratio and crop varieties, soil types, climatic and environmental factors are closely related. The optimal amount of fertilizer between different varieties of the same crop varies due to a variety of factors. Based on the existing research results, in the future, it is necessary to be targeted when studying different crop varieties, explore the most suitable fertilizer dosage and nitrogen, phosphorus and potassium ratio of each variety, so that the fertilizer can give full play to its effect to achieve the purpose of energy saving, weight loss, yield and quality increase, and try to provide certain scientific basis and theoretical help for the research progress of crop ultra-high product cultivation direction and the improvement of crop yield and sustainable soil cultivation.

Key words Fertilization amount; Yield; Photosynthesis; Leaf area index; Nitrogen fertilizer

作物超高产品种是一种相对概念, 在栽培上要实现单产 12 t/hm² 以上, 在定义上要使有发展空间的超高产品种, 在一定环境条件下综合多种因素, 达到再高产的成果。第十个五年计划时期, 国家高技术研究发展计划提到超高产作物品种的主要指标, 是在现有的农业生产技术水平上再提高至少 15%~20%^[1]。传统的栽培技术无法使作物种植得到更高的经济回报, 高产栽培技术应需而出, 为作物种植质量与产量的共同提升夯实基础, 以获得更高的经济效益, 同时促进种植业发展^[2]。作物的生理性状和产量性状的研究是提高作物产量的重中之重, 是各生育阶段目标定位的重要依据。在高产栽培技术中, 首先要明确的是肥料具有重要意义, 肥料的合理施用不仅可以调节土壤理化性质, 提升土壤肥力、土壤利用率^[3], 还能对作物生理和产量性状产生大幅度提高, 以提高作物产量和品质。因此, 科学施肥将是未来农业实现可持续发展的主要趋势^[4]。施肥技术中对施肥量的控制有一个程序即以土定产, 以产定氮, 以氮定磷钾, 再搭配有机肥和其他肥料^[5]。

然而, 目前在施肥量的把控方面仍存在较多问题, 主要表现为肥料利用率低, 首要原因是施肥用量不适, 过多或缺乏导致的结果^[6]。所以, 探究作物超高产品种生理及产量性状对施肥量的响应具有重要意义, 对于增加肥料利用率, 减少施肥造成的环境问题极为重要^[7]。同时帮助了解产量形成的机制, 有助于采取相应的调控措施, 使作物生长快速达到最佳生理特征并保持其最长功能期, 以期能够进一步提高作物产量^[8-9]。

该研究总结了玉米、水稻、小麦、大豆 4 种主要作物超高产品种生理及产量性状对施肥量响应方面的研究成果和进展, 并对施肥量的控制在作物产量提高过程中所面临和需要解决的科学问题进行了展望, 旨在为肥料合理施用、作物增产提质提供理论依据。

1 玉米超高产品种生理及产量性状对施肥量的响应

玉米超高产品种有广适性、抗性强、质量优、易制种等优点, 具体指产量达到 15 t/hm² 以上或较同期主要栽种的对照种产量提高 20% 的品种^[10]。世界各地的栽培实践可以证实肥料对玉米产量的提高具有积极的推动作用。氮素是作用于玉米代谢, 促进玉米成长发育的第一大营养元素, 对玉米的源库调节、生理性状、农艺性状、产量性状、品质形成等均起主要作用^[5]。

1.1 生理性状对施肥量的响应 吕鹏等^[11]研究表明, 随着

基金项目 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-04-PS12); 吉林省科技发展计划项目(YDZJ202102CXJD009)。

作者简介 王婷婷(1997—), 女, 江苏常熟人, 硕士研究生, 研究方向: 大豆栽培。*通信作者, 研究员, 博士, 从事大豆栽培研究。

收稿日期 2022-02-26; **修回日期** 2022-05-30

氮肥施用量的增加,玉米的氮素积累量、氮肥利用率均呈现先升后降的趋势,当施氮量在 240~360 kg/hm² 时能够使氮肥利用率和氮肥农学利用率得到显著提高,从而增加玉米产量。陈国平等^[12] 研究表明,氮肥施用量的增加对超高产夏玉米冠层高光谱反射率及红边位置下变化影响不大。超高产夏玉米在一定程度上比高产玉米对氮肥量的增加敏感度低,所以耐肥性较高产玉米强。景立权等^[13] 研究发现,利用氮肥运筹可以形成“提高开花期光合速率从而提高玉米灌浆前期干物质积累量及积累速率”的个体发育,最终获得超高产玉米群体发育。孙宁等^[14] 研究发现,施氮量以 300 kg/hm² 最合适,在 0~300 kg/hm² 施氮量内,施氮量与玉米叶片的叶面积指数以及光合指标中的蒸腾速率、气孔导度、光合速率等呈正相关,生育后期这些指标的下降会直接降低玉米产量。楚光红等^[15] 研究发现,在大喇叭口期配合吐丝期施用氮肥,能显著减缓超高产春玉米各土层根系老化速度,特别是灌浆期 20~60 cm 土层的根系活力将得到显著提升。其中拔节期、大喇叭口期配合吐丝期施氮 300 kg/hm² 为最适施氮量。陈杨等^[16] 研究发现,通过 Logistic 模型模拟和预测不同氮磷钾处理下夏玉米株高和叶面积指数的动态变化。适量施肥条件下方程的拟合度和稳定性优于养分过量或过少的拟合方程。

1.2 产量性状对施肥量的响应 陈曦等^[17] 研究发现,在超高产夏玉米生产中,均衡肥料配施较单一肥料施用可提高产量形成能力,且其中氮肥对产量的影响最大。马兴林等^[18] 研究发现,随着施氮量的增加,玉米产量性状中除了百粒重变化不显著,粒数、粒叶比、收获指数、单产、生物学产量等指标均呈增加趋势。姚晓旭等^[19] 和丁民伟等^[20] 指出不同氮、钾肥运筹对超高产玉米干物质和产量的影响差异显著,合理的氮肥量能提高玉米果穗的粒重和穗粒数,对玉米产量的提高起到关键作用。杨升辉等^[21] 研究发现,不同处理下春玉米的穗粗、穗长、穗粒数、粒长、千粒重、产量均以优化施氮量 300 kg/hm² 时最大,超过将降低籽粒干物质的积累。房琴等^[22] 研究表明,超高产玉米吐丝后干物质积累量随着施氮量的逐渐增加呈先上升后下降趋势,施氮量为 375 kg/hm² 时籽粒产量高。安江勇等^[23] 研究发现,玉米种类与最适氮肥量对玉米穗粗和千粒重的影响非常显著,一定范围内,均随施肥量的增加促进穗粗生长和千粒重的增加。

总体而言,相同玉米超高产品种在一定范围内,生理和产量特性与施肥量呈正相关,随着施氮量的增加,2 种性状指标显著增加。其中不同品种间的生理及产量性状所能适应的最佳施肥量不同,这主要与玉米品种、种植区域、肥料配比等相关。

2 水稻超高产品种生理及产量性状对施肥量的响应

水稻超高产品种是指现有产量增产 1.5~3.0 t/hm² 或在现有产量水平再增加 15% 以上的品种。施肥提高水稻叶片光合作用、光合色素转化效率,提高 CO₂ 固定速率,增加光合产物的积累。在改良光合性能的同时,保持较多水稻绿叶数量,从而将功能期延长,最终达到提高水稻产量的目的,

其中氮素是首要因素^[24]。

2.1 生理性状对施肥量的响应 杨建昌等^[25] 研究指出,超高产水稻的干物质积累、LAI、光合势等指标在生育前期比在抽穗后均明显优于高产品种。抽穗期到成熟期的根系伤流量、粒叶比、茎鞘物质运转率和收获指数以及生育时期的根冠比均明显优于高产品种。王仁雷等^[26] 研究发现,叶面积、RuBP 羧化酶活性、光合速率随着氮肥水平的提高而增加。田智慧等^[27] 研究表明,将施肥量控制在 0~300 kg/hm² 范围内,逐渐增施氮肥能显著促进叶面积指数的增加,其中孕穗期达到一个峰值。适当在中后生育时期段增加施氮量,可以显著增加抽穗期的叶面积指数,同时减缓叶片衰老速度,以提高水稻灌浆期叶片的光合能力。徐俊增等^[28] 研究认为,将氮肥量控制在 300 kg/hm² 以下又不低于 200 kg/hm²,叶片光响应特征将随氮肥施用量的增加逐渐改善。王显等^[29] 认为,当水稻氮肥施用量相同时,施用磷肥能够降低成熟期剑叶的叶绿素含量的下降速率,提高叶片光合功能。陆庆等^[30] 研究发现,降低钾肥施用量能显著延长水稻冠层的光合午休现象。除了地上部光合作用对适量施肥的积极响应,地下部根系作为水稻养分吸收的重要器官,其根量和高的根系活力与其植株衰老慢(叶面积和光合势下降慢)、干物质积累量高密切相关。在适量施肥条件下,魏中伟等^[31] 对超高产水稻超优 1000 的根系特征研究发现,施肥促进了其生育前期的根干重、根冠比、根体积、根密度、根系伤流量及颖花根流量的提高,减缓了其生育后期根干重、根系伤流量下降趋势,并且在土壤下层扎根较深。这表明超高产水稻品种除了表现出地上部生物量的强大库容优势,良好的地下根系构型及生理特征也是后期群体不早衰的重要保障。

2.2 产量性状对施肥量的响应 洪克城等^[32] 研究发现,在减少基肥施氮比重的同时,增加穗肥施用量,对提高成穗率和粒重有重要作用。施纯氮量 300 kg/hm²,同时基肥穗肥合理施用,可促进水稻后期干物质积累,防止早衰,促进水稻高产、稳产。徐春梅等^[33] 研究发现,氮肥用量对结实率、千粒重和有效穗数影响较大,对水稻每穗粒数影响较小,氮肥用量过低时,增穗作用不明显,降低了水稻的结实率和千粒重,最终导致减产。而熊昌明^[34] 研究发现,不同施氮量对水稻的有效穗、每穗颖花数、结实率和千粒重的影响差异不大,只有将氮肥控制在一定范围内,才能满足超高产水稻对氮素养分的需要。黄礼英^[35] 研究发现,在减氮处理下,产量主要由干物质积累和收获指数共同作用,而在高氮处理下主要是干物质积累。徐娅等^[36] 研究发现,水稻籽粒养分总吸收量和养分需求量均随氮、磷肥施用量的增加呈显著增加趋势,而养分干物质生产效率及养分稻谷生产效率则呈显著下降趋势,同时肥料的农学利用率和吸收利用率也都存在下降趋势。

总体来看,氮肥量对水稻超高产品种的粒数影响较小。控制施氮量,均衡氮磷钾配比,保证一定的干物质积累,合理分配基肥穗肥是水稻超高产栽培的重点。

3 小麦超高产品种生理及产量性状对施肥量的响应

翟凤林^[37] 指出的小麦超高产是指在当地平均单产的前

前提下,能够提高肥水及光能利用率和节省大面积用地的同时再提高 50%产量。氮肥的合理使用对小麦产量提高具有必不可少的作用,目前小麦生产中需提高的方面有:提高氮素利用率、确定合理的施氮量、降低氮肥使用对环境产生的压力^[38]。

3.1 生理性状对施肥量的响应 李春喜等^[39]研究发现,药隔期追加氮肥量,可以提高小麦中后期硝酸还原酶活性,从而提高小麦产量。王晨阳等^[40]研究表明,在小麦的生育期追施氮肥,可提高作物后期光合性能,降低叶片气孔导度,使作物体内保护酶活性处于高水平状态,延缓作物植株的衰老,从而促进小麦籽粒的形成与发育,提高籽粒产量。康国章^[41]研究表明,在氮量等同条件下,减少基氮用量最为适宜,加大小麦生育期间的追氮比例及推迟追氮时期,可以减少小麦旗叶 RuBP 羧化酶活性,降低净光合速率,从而延缓生长后期 RuBP 羧化酶活性的下降速率,并增强其同化能力。孙旭生等^[42-43]研究表明,随着施氮量的增加,小麦的净光合速率也随之增强。通过控制一定水平的氮素能够改变超高产小麦灌浆期旗叶的光响应曲线。在整个灌浆期内随着氮肥的增加,小麦旗叶的最大净光合速率将同时增加。黄光荣等^[44]研究发现,不同施肥量可以提升小麦对水分和养分的吸收能力,提高光合速率,从而增强叶片对光能的吸收和转化,增加小麦产量。王茂莹等^[45]研究表明,氮肥增加可以促进小麦叶片光合色素合成速率,加快色素积累,提高植株光合作用,以增加小麦向籽粒的转运速率及干物质的积累,促进小麦群体发育,提高产量。此外根系对于氮肥量、氮肥追施时期、氮素形态的响应表现不同的积极效应。在超高产栽培条件下,随着施氮量的增加深土层根系所占比重逐渐增大,而在拔节期追施氮肥明显延缓了根系活性的下降^[46]。另外小麦根系体积和根长受酰胺态氮的影响要大于铵态氮和硝态氮,但铵态氮和硝态氮对小麦根系的影响因品种而异^[47]。

综上所述,超高产小麦对于氮肥的响应表现为提高地下部根系吸收能力,促进光合作用,减缓叶片衰老速度,延长并促进干物质积累,从而表现出高的产量潜力。

3.2 产量性状对施肥量的响应 苏丙华等^[48]研究发现,在 0~270 kg/hm²,随施氮量的增加,籽粒产量、蛋白质含量以及产量呈增加趋势,氮肥吸收效率、氮肥生产效率、氮肥农学利用率呈下降趋势。隋娟等^[49]研究表明,氮肥施用量达到 190 kg/hm² 时,在滴灌模式下较 120 kg/hm² 时的水分利用效率和籽粒产量均有所提高,且经济效益达到最高。Fu 等^[50]研究表明,在干旱地区,优化灌溉和氮素投入可显著提高冬小麦产量,最适氮肥输入量为 256 kg/hm²。水和肥料投入的水平应根据不同的水和特定地区的肥料条件提高水肥利用效率。史辛凯等^[51]研究表明,施氮处理比不施氮处理更能显著提高籽粒产量,且当氮肥施用量为 210 kg/hm² 时,籽粒产量、氮肥偏生产力、氮肥农学效率均达到较高水平。郭丹丹等^[52]研究发现,小麦筋型中中强型品种的蛋白质含量、蛋白质产量、籽粒产量对氮肥追施处理均有响应。

由此可见,小麦的最适施氮量变化较大,可以推断超高

产小麦的生理和产量性状对施肥量的响应较玉米、水稻要显著。最适氮肥量随小麦品种变化较前两者也更为显著,也就是说对施肥量的把控难度也较玉米、水稻高。

4 大豆超高产品种生理及产量性状对施肥量的响应

杜维广等^[53]围绕能量论研究推导大豆最高产量在 6 000~9 590 kg/hm²,该产量现阶段在大豆生长环境条件达到理想状态下才可能达到。大豆作为固氮作物,氮素在肥料中起着非常重要的地位。

4.1 生理性状对施肥量的响应 适宜的叶面积指数是衡量大豆高产的重要生理指标之一。叶面积指数与大豆产量呈正相关,生育期内增加大豆的叶面积指数,能够延长叶片光合能力,从而获得高产^[54-55]。胡根海等^[56]对大豆植株不同时期的倒三叶进行了测量,从始花期到鼓粒期叶绿素处于上升趋势,在鼓粒期达到峰值,鼓粒期以后处于下降趋势。肖万欣^[57]研究发现,在不同施肥水平处理下,氮素积累量与施肥量正相关。肖亦农等^[58]研究表明,氮、磷配施可以影响大豆植株体内的养分浓度,从而提高各生育期氮、磷百分比含量,促进钾素的积累。施用磷酸二铵能够促进大豆籽粒量和全株氮积累,并且在氮肥量 300 kg/hm² 处理下,氮积累量增幅较大。盖嘉慧等^[59]研究得出,随着施氮量的增加,叶面积指数总体表现为前期上升快,中期稳定时间长,生育后期下降缓慢,且超高产大豆最大叶面积指数应在 5 以上。赵玉昆等^[60]研究表明,施肥量增加,大豆对氮磷钾的吸收和转运能力也会随之增强。张伟等^[61]研究发现,不同品种大豆的净光合速率在生育期的变化不同,不同节位的光合速率从壮龄叶开始逐渐下降,且不同品种之间差异显著。李琪瑞^[62]研究发现,土壤处理为 0.225 g/kg 的氮肥施用量可以满足生育期内植株对氮素的需要。施氮量和大豆叶片的叶色值和净光合速率呈正相关,超过一定程度后下降。将大豆盛荚期的光合速率维持在一个较高水平,有利于提高大豆的产量。

4.2 产量性状对施肥量的响应 多种性状决定大豆产量,其相关性状多而复杂,且各性状间具有关联性,相互促进又相互制约^[63]。张含彬等^[64]发现,大豆生长发育需考虑在营养器官中干物质的分配与转移。丁洪等^[65]认为,增施氮肥能够增加大豆生育期内的结荚率,增加粒数,使得产量提高。田艳红等^[66-67]研究发现,通过对不同生育期的大豆追肥,并在盛荚期追氮肥能够显著增加粒数和单株荚数,从而提高大豆的产量。苏代群等^[68]研究发现,施氮相比于不施氮可以定位更多大豆单株荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重、株高、节数的有效 QTL,可为分子辅助育种做出贡献。孙振宇等^[69]研究表明,氮钾肥主要影响大豆结荚数,氮磷肥主要影响植株株高,氮肥主要影响大豆产量,由此谭春燕等^[70]提出合理施肥对产量提高极为重要。肖永成^[71]研究表明,大豆在生育期内干物质的增长规律符合 Logistic 曲线,花后期限对籽粒产量贡献最显著的是茎叶干物质的积累,与产量呈显著正相关。

总体来说,播种前施氮肥对大豆的根瘤形成和后期的生长发育具有重要的意义,施用适量的氮肥可以提升大豆自身

的生长发育能力,改善产量构成因子,提高大豆产量。

5 总结与展望

施肥量对玉米、水稻、小麦、大豆4种超高产品种的生理和产量性状都有着一定的影响,因其对作物发育有着重要影响力,被广泛用于提高作物产量的研究。综述已有的研究成果发现,肥料施用量在实践中,很多技术参数难以确定,在有试验数据作支撑的前提下,也难显示其真实性。因此,理论得出的施用量失去了实际应用意义,具体的施用量还应从实际调查和生产经验的综合分析中确定,从而在栽培技术上取得更高的产量。综合来看,作物生理和产量性状在合理的范围内随着施肥量的增加而增加,肥料配比与作物品种、土壤类型、气候环境等因素密切相关。在不同的作物间,相同作物的不同品种间的最佳施肥量因多种因素不同。作物生理和产量性状对最佳施肥量和肥料配施的响应优于传统施肥量。基于已有的研究成果,今后需要在研究不同作物品种时具有针对性,根据地理环境、土壤类型等外部环境探究施肥量对作物生理和产量的影响过程,探索各品种最适宜施肥量和氮磷钾配比,从而使肥料充分发挥其功效以达到节能减肥、增产增质的目的^[7]。

目前来说,关于我国作物超高产品种施肥量的研究中,玉米、水稻、小麦3种作物的研究量相比于大豆范围广、数量多。因此,在今后的研究中应扩大对于大豆的研究范围,深入展开对大豆超高产品种生理和产量性状对施肥量的响应的研究。

参考文献

- [1] 张卫星,周训文,赵致.我国粮食作物超高产研究与实践[J].贵州农业科学,2007,35(4):125-129.
- [2] 王鹏斌.玉米高产栽培技术[J].乡村科技,2020,11(28):99-100.
- [3] 梁靖,梁宏,胡卫静,等.农业可持续发展中土壤肥料利用发展途径[J].农村实用技术,2021(5):75-76.
- [4] 张利军.土壤肥料在农业可持续发展中的地位和作用[J].新农业,2020(19):7.
- [5] 孙健,陆凯文,秦叶波.水稻超高产栽培水定位促控技术[J].中国稻米,2020,26(4):67-71.
- [6] 李震宇.肥料利用率的研究[J].民营科技,2010(4):2,85.
- [7] 庄晔,王娟.生物炭和肥料配施对土壤理化特性和作物生长的影响的研究综述[J].水利与建筑工程学报,2021,19(4):186-193.
- [8] 满为群,杜维广,张桂茹,等.大豆超高产潜力的探讨[J].大豆科学,2001,20(2):94-97.
- [9] 安玉森.黑龙江省优质春小麦超高产栽培技术[J].农业开发与装备,2018(9):180,188.
- [10] 魏建军,张力,杨相昆,等.超高产大豆氮磷钾吸收分配动态及模式的研究[J].大豆科学,2010,29(3):413-419.
- [11] 吕鹏,张吉旺,刘伟,等.施氮量对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):852-860.
- [12] 陈国平,高聚林,赵明,等.近年我国玉米超高产田的分布、产量构成及关键技术[J].作物学报,2012,38(1):80-85.
- [13] 景立权,赵福成,王德成,等.不同施氮水平对超高产夏玉米氮磷钾积累与分配的影响[J].作物学报,2013,39(8):1478-1490.
- [14] 苏宁,边少锋,孟祥盟,等.氮肥施用量对超高产玉米光合性能及产量的影响[J].玉米科学,2011,19(2):67-69,72.
- [15] 楚光红,章建新,高阳,等.施氮量对滴灌超高产春玉米根系时空分布及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(3):156-160.
- [16] 陈杨,王磊,自由路,等.有效积温与不同氮磷钾处理夏玉米株高和叶面积指数定量关系[J].中国农业科学,2021,54(22):4761-4777.
- [17] 陈曦,白倩倩,史桂清,等.氮磷钾配施对超高产夏玉米养分吸收和产量性状的影响[J].中国农学通报,2019,35(10):7-14.
- [18] 马兴林,边少锋,任军,等.春玉米超高产群体结构与调控技术[J].农业科技通讯,2009(1):94-98.
- [19] 姚晓旭,于海秋,曹敏建.氮、钾肥运筹对超高产玉米干物质积累和产量的影响[J].华北农学报,2009,24(S1):176-178.
- [20] 丁民伟,崔彦宏,刘梦星,等.氮肥用量与施用时期及分配比例对夏玉米干物质积累的影响[J].河北农业大学学报,2007,30(6):1-4.
- [21] 杨升辉,张延和,刘晶,等.超高产栽培氮肥运筹对春玉米穗部性状及产量的影响[J].作物杂志,2011(6):38-41.
- [22] 房琴,高影,王红光,等.密度和施氮量对超高产夏玉米干物质积累和产量形成的影响[J].华北农学报,2015,30(S1):133-138.
- [23] 安江勇,肖厚军,秦松,等.不同施肥量对贵州高产玉米养分吸收、生物性状、产量及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2016(3):73-79.
- [24] 刘宇锋,李伏生.灌溉方式与施肥水平对超级稻光合生理的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(4):416-425.
- [25] 杨建昌,杜永,吴长付,等.超高产粳型水稻生长发育特性的研究[J].中国农业科学,2006,39(7):1336-1345.
- [26] 王仁雷,李霞,陈国祥,等.氮水平对杂交稻汕优63剑叶光合速率和RuBP羧化酶活性的影响[J].作物学报,2001,27(6):930-934.
- [27] 田智慧,潘晓华.氮肥运筹及密度对超高产水稻中优752的产量及产量构成因素的影响[J].江西农业大学学报,2007,29(6):894-898.
- [28] 徐俊增,彭世彰,魏征,等.不同供氮水平及水分调控条件下水稻光合作用响应特征[J].农业工程学报,2012,28(2):72-76.
- [29] 王昱,张国良,霍中洋,等.氮硅配施对水稻叶片光合作用的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2010,31(3):44-49.
- [30] 陆庆,蒋德安,翁晓燕,等.钾营养对不同水稻基因型物质生产和光合作用的效应[J].浙江农业大学学报,1999,25(3):267-270.
- [31] 魏中伟,马国辉.超高产杂交水稻超优1000的根系特征研究[J].杂交水稻,2016,31(5):51-55.
- [32] 洪克城,张大友,徐为元.水稻超高产群体质量与N肥运筹效应[J].南京农专学报,2000,16(2):39-42.
- [33] 徐春梅,王丹英,邵国胜,等.施氮量和栽插密度对超高产水稻中早22产量和品质的影响[J].中国水稻科学,2008,22(5):507-512.
- [34] 熊昌明.超级稻施肥量与插植方式研究[J].不同施肥量对一季超级杂交稻产量及生长的影响[J].耕作与栽培,2009(3):30-31,43.
- [35] 黄礼英.减氮背景下超高产水稻品种产量和氮肥利用效率的农学与生理研究[D].武汉:华中农业大学,2018.
- [36] 徐娅,李树杏,涂敏,等.氮·磷·钾肥对优质稻T香优557产量·米质及养分吸收利用的影响[J].安徽农业科学,2020,48(20):151-156.
- [37] 翟凤林.超高产节水小麦育种及其进展与展望[J].北京农业科学,1999(1):9-14.
- [38] 侯翠翠,冯伟,李世莹,等.不同水氮处理对小麦耗水特性及产量的影响[J].麦类作物学报,2013,33(4):699-704.
- [39] 李春喜,姜丽娜,李秀明,等.不同氮肥运筹对超高产小麦NR活性和产量影响的研究[J].作物学报,1998,24(6):847-853.
- [40] 王晨阳,朱云集,夏国军,等.氮肥后移对超高产小麦产量及生理特性的影响[J].作物学报,1998,24(6):978-983.
- [41] 康国章.超高产冬小麦氮素运筹的生理效应及产量形成研究[D].郑州:河南农业大学,2000.
- [42] 孙旭生,林琪,刘义国,等.不同施氮量对超高产小麦灌浆期光合日变化的影响[J].华北农学报,2008,23(1):158-162.
- [43] 孙旭生,林琪,刘义国,等.施氮量对超高产小麦开花期旗叶光合功能的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(4):771-777.
- [44] 黄光荣,陆引罡,远红伟.不同施肥量对小麦生理特征及产量的影响[J].贵州农业科学,2009,37(5):35-37.
- [45] 王茂堂,贺明荣,李玉,等.施氮量对不同小麦品种产量及氮素吸收利用的影响[J].水土保持学报,2020,34(4):241-248.
- [46] 潘发民,于振文,田奇卓,等.追氮时期对超高产冬小麦旗叶和根系衰老的影响[J].作物学报,1998,24(6):924-929.
- [47] 孙敏,郭文善,孙陶芳,等.氮素形态对小麦根系特性影响的初步研究[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2007,28(1):54-58.
- [48] 苏丙华,徐伟,张娟,等.施氮量对超高产小麦品种济麦22号产量和氮素利用效率的影响[J].山东农业科学,2012,44(8):78-80.
- [49] 隋娟,王建东,龚时宏,等.滴灌水氮耦合对水氮利用及冬小麦产量的影响[J].排灌机械工程学报,2016,34(6):532-538.
- [50] FU Q P, WANG Q J, SHEN X L, et al. Optimizing water and nitrogen inputs for winter wheat cropping system on the Loess Plateau, China[J]. Journal of arid land, 2014, 6(2):230-242.
- [51] 史辛凯,石玉,赵俊晔,等.施氮量对超高产小麦品种烟农1212耗水特性和籽粒产量的影响[J].山东农业科学,2018,50(5):72-75.
- [52] 郭丹丹,刘哲文,常旭虹,等.施氮处理对不同筋型小麦产量和品质的影响[J].作物杂志,2020(6):158-162.

- [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(26): 12699-12700.
- [7] 郭玉婷, 兰卫, 田思敏, 等. 新疆小枝玫瑰降糖作用及机制研究[J]. 新疆医科大学学报, 2015, 38(4): 452-454.
- [8] 丁婷婷, 柳佳莹, 沈明浩, 山东烟台总黄酮的抗衰老作用研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(12): 140-146.
- [9] 王军喜, 赵文红, 韩珍, 等. 玫瑰露抑菌效果研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(3): 79-80, 90.
- [10] 欧阳平, 张高勇, 康保安. 类黄酮提取的基本原理、影响因素和传统方法[J]. 中国食品添加剂, 2003(5): 54-57.
- [11] 曾惠明, 徐天有, 石玲丽, 等. 胡柚皮中类黄酮素提取及残渣综合利用工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(14): 185-187, 203.
- [12] 王玲玲, 边祥雨, 高蔚娜, 等. 植物类黄酮提取纯化技术研究进展[J]. 营养学报, 2019, 41(6): 606-610.
- [13] 刘舂, 杨洋. 生物类黄酮提取研究进展[J]. 中外食品, 2004(10): 48-49.
- [14] 王琴飞, 吴秋妃, 徐媛, 等. 木薯叶片中黄酮醇类物质的提取与检测[J]. 西南农业学报, 2018, 31(8): 1694-1699.
- [15] 李焱. 西番莲籽种中类黄酮的提取、分离纯化、结构鉴定及抗氧化活性研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2019.
- [16] 杨德全, 叶建阳, 刘鸿云, 等. 从苦荞麦中提取芦丁的研究[J]. 延安大学学报(自然科学版), 1997, 16(4): 69-71.
- [17] 吴剑, 曾凡坤, 张玉, 等. 响应面法优化碱性水提取柑桔皮渣类黄酮工艺研究[J]. 食品科技, 2011, 36(4): 184-188.
- [18] 李斌, 孟宪军, 刘辉. 超临界 CO₂ 萃取玫瑰精油的研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(11): 105-107.
- [19] 潘利华, 罗建平. 大豆异黄酮超临界流体萃取工艺与动力学模型[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6): 137-141.
- [20] PURI M, SHARMA D, BARROW C J. Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants[J]. Trends in biotechnology, 2012, 30(1): 37-44.
- [21] 陶文亮, 李慧力. 酶法在植物黄酮提取中的应用[J]. 贵州化工, 2010, 35(5): 31-32, 35.
- [22] 朱华. 拳卷地钱中黄酮类化合物的分离纯化、结构表征及生物活性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2004.
- [23] DOKTYCZ S J, SUSLICK K S. Interparticle collisions driven by ultrasound[J]. Science, 1990, 247(4946): 1067-1069.
- [24] 戴得蓉, 刘松奇, 熊坤艳, 等. 雪莲果叶总黄酮超声波辅助酶法提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(2): 179-185.
- [25] JOCELYN PARE J R, SIGOUIN M, LAPOINTE J. Microwave-assisted natural products extraction: US 51958890A [P]. 1991-03-26.
- [26] JIANG Y H, JIANG X L, CAI C G, et al. Study on microwave-assisted extraction technology of total flavonoid from Castor leaves [J]. Advanced materials research, 2014, 1004/1005: 868-872.
- [27] 张玉, 曾凡坤, 吴剑. 微波辅助提取柑桔皮渣中类黄酮的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(7): 210-212.
- [28] 王贞贞, 张维玉. 现代过滤技术——超滤技术[J]. 中国医院药学杂志, 1992, 12(6): 284-286.
- [29] 袁明德. 论离心沉降和沉降式离心机在中药提取中的应用[J]. 中成药, 1996, 18(7): 44.
- [30] ITO Y. High-speed countercurrent chromatography [J]. Nature, 1987, 326(6111): 419-420.
- [31] 秦艳, 冯卫华, 白卫东, 等. 柑橘类黄酮化合物的提取及定量分析方法研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(11): 403-406, 413.
- [32] 傅春燕, 刘永辉, 陈代武, 等. 紫外分光光度法测定不同产地瓜馥木中黄酮含量[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(33): 18744-18746.
- [33] 陈从瑾, 黄克瀛, 韦龙宾. 色谱方法在植物黄酮含量测定中的应用[J]. 光谱实验室, 2007, 24(5): 820-824.
- [34] 刘畅, 赵继荣, 王昆, 等. 东北地区不同苹果果实的类黄酮组分及含量分析[J]. 中国果树副特产, 2020(5): 25-28.
- [35] 陈为凯. 一年两收栽培模式下葡萄果实靶向代谢组 and 转录组研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [36] 薛晓芳, 赵爱玲, 任海燕, 等. 果糖类黄酮的提取、分离纯化及检测方法[J]. 果树资源学报, 2020, 1(5): 53-57.
- [37] 高淑云, 程熙. 麻叶千里光中总黄酮的测定分析[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 316-319.
- [38] 章育中, 郭希圣. 薄层层析法和薄层扫描法[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1990: 267.
- [39] 王学军, 许振良, 赵锁奇. 银杏叶提取物中槲皮素和芦丁的超临界流体色谱法测定[J]. 中国医药工业杂志, 2005, 36(7): 415-417.
- [40] 李凤林, 李青旺, 高大斌, 等. 天然黄酮类化合物含量测定方法研究进展[J]. 江苏调味副食品, 2008, 25(4): 8-13.
- [41] 白新伟, 陈鹏. 柱前衍生-毛细管电泳法分离测定苦荞壳中的 8 种黄酮类化合物[J]. 理化检验(化学分册), 2020, 56(8): 897-901.
- [42] 金晶, 阳鑫, 周薇, 等. 玫瑰类黄酮研究进展[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(16): 14-17.

(上接第 4 页)

- [53] 杜维广, 盖钧镒. 大豆超高产育种研究进展的讨论[J]. 土壤与作物, 2014, 3(3): 81-92.
- [54] KUMUDINI S, HUME D J, CHU G. Genetic improvement in short season soybeans: I. Dry matter accumulation, partitioning, and leaf area duration [J]. Crop science, 2001, 41(2): 391-398.
- [55] 赵婧, 邱强, 张鸣浩, 等. 高产大豆品种的生理特征和产量性状研究[J]. 大豆科学, 2013, 32(4): 482-485, 489.
- [56] 胡根海, 章建新, 唐长青. 北疆春大豆生长动态及干物质积累与分配[J]. 新疆农业科学, 2002, 39(5): 264-267.
- [57] 肖万欣. 氮、磷、钾肥合适配施能提高玉米产量[J]. 农家顾问, 2011(10): 27.
- [58] 肖亦农, 谢甫梯, 肖万欣. 不同肥密处理对超高产大豆氮素吸收和产量的影响[J]. 大豆科学, 2011, 30(5): 769-776.
- [59] 盖嘉慧, 闫孝贡, 刘剑利, 等. 吉林中部超高产大豆的生育特征与营养特性研究[J]. 大豆科学, 2014, 33(3): 451-454.
- [60] 赵玉昆, 张惠君, 敖雪, 等. 磷酸二铵对大豆超产品种养分吸收与利用的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(12): 2326-2334.
- [61] 张伟, 宋显军, 谢甫梯, 等. 不同大豆品种光合特性的比较[J]. 大豆科学, 2008, 27(3): 391-396.
- [62] 李琪瑞. 超高产大豆光合特性及对氮肥的响应[D]. 延吉: 延边大学, 2021.
- [63] LI C, TANG H P, LUO W, et al. A novel, validated, and plant height-independent QTL for spike extension length is associated with yield-related traits in wheat [J]. Theoretical and applied genetics, 2020, 133(12): 3381-3393.
- [64] 张含彬, 伍晓燕, 杨文钰. 氮肥对套作大豆干物质积累与分配的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(4): 404-409.
- [65] 丁洪, 郭庆元. 氮肥对不同品种大豆氮积累和产量品质的影响[J]. 土壤通报, 1995, 26(1): 18-21.
- [66] 田艳洪, 刘元英, 张文钊, 等. 不同时期施用氮肥对大豆根瘤固氮酶活性及产量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(5): 15-19.
- [67] 邸伟, 金喜军, 马春梅, 等. 施氮水平对大豆氮素积累与产量影响的研究[J]. 核农学报, 2010, 24(3): 612-617.
- [68] 苏代群, 张楷歆, 李文霞, 等. 不同施氮条件下大豆形态与产量相关性状的 QTL 分析[J]. 大豆科学, 2020, 39(2): 198-204.
- [69] 孙振宁, 李晶, 段兴武, 等. 氮磷钾施肥水平对大豆产量及性状的影响[J]. 作物杂志, 2012(5): 135-139.
- [70] 谭春燕, 朱星陶, 陈佳琴, 等. 不同氮钾水平对大豆光合生理及产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(10): 5-9.
- [71] 肖永成. 大豆干物质积累分配与产量的关系研究[J]. 现代农业科技, 2020(1): 4-6.

(上接第 7 页)

- [40] BABA E, ULUKÖY G, ÖNTAŞ C. Effects of feed supplemented with *Lentinula edodes* mushroom extract on the immune response of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, and disease resistance against *Lactococcus garvieae* [J]. Aquaculture, 2015, 448: 476-482.
- [41] GUNAWARDENA D, SHANMUGAM K, LOW M, et al. Determination of anti-inflammatory activities of standardised preparations of plant- and mushroom-based foods [J]. European journal of nutrition, 2014, 53(1): 335-343.
- [42] GENG Y, ZHU S L, LU Z M, et al. Anti-inflammatory activity of mycelial extracts from medicinal mushrooms [J]. International journal of medicinal mushrooms, 2014, 16(4): 319-325.