

化肥减量对小麦产量和肥料利用率影响

黄璐璐¹, 王站付¹, 施 俭², 林天杰¹, 徐春花¹, 陆 亮², 郭 栋²

(1. 上海农业技术推广服务中心, 上海 201103; 2. 崇明区农业技术推广服务中心, 上海 202150)

摘 要: 为研究化肥减量对小麦产量及肥料利用效率的影响, 选用扬麦 20 进行了不施化肥、常规施肥和化肥减量 20% 的试验。结果表明, 与常规施肥相比, 减肥 20% 处理的成熟期株高、穗长和产量分别下降了 8.06% ($P < 0.01$)、12.12% ($P < 0.01$) 和 17.76% ($P < 0.01$), 氮磷钾吸收量分别下降了 26.88% ($P < 0.01$)、31.19% ($P < 0.01$)、21.15% ($P < 0.01$)。氮磷钾利用率分别提高了 26.11% ($P < 0.05$)、34.32% ($P < 0.05$)、24.19% ($P < 0.01$), 氮磷钾的农学效率分别提高了 16.92% ($P < 0.01$)、16.61% ($P < 0.01$)、16.08% ($P < 0.01$)。上述结果说明化肥减量 20% 虽不利于小麦生长, 导致减产, 但能有效提高肥料的农业生产效率, 因此需要合理施肥, 开展化肥减量及替代措施研究。

关键词: 小麦; 化肥减施; 产量; 肥料利用率

中图分类号: S 512.1

文献标识码: A

Effects of fertilizer reduction on the yields and fertilizer utilization efficiency of wheat

HUANG Lu-lu¹, WANG Zhan-fu¹, SHI Jian², LIN Tian-jie¹,
XU Chun-hua², LU Liang², GUO Dong²

(1. Extension Service Center of Agricultural Technology of Shanghai, Shanghai 201103, China;

2. Agro-Technology Extension Service Center of Chongming District, Shanghai 202150, China)

Abstract: Yangmai-20 was used to evaluate the effects of fertilizer reduction on the yields and fertilizer utilization efficiency of the wheat. The results showed that fertilizer reduction by 20 percent, compared with conventional fertilization, reduced the plant height, panicle length and yield at mature stage by 8.06% ($P < 0.01$), 12.12% ($P < 0.01$) and 17.76% ($P < 0.01$), respectively. The reduction also reduced the absorption of N, P₂O₅ and K₂O by 26.88% ($P < 0.01$), 31.19% ($P < 0.01$) and 21.15% ($P < 0.01$), respectively. Nevertheless, the utilization efficiency and agronomic efficiency of N, P, and K increased by 26.11% ($P < 0.05$), 34.32% ($P < 0.05$), 24.19% ($P < 0.01$), 16.92% ($P < 0.01$), 16.61% ($P < 0.01$) and 16.08% ($P < 0.01$), respectively. The above results indicate that although fertilizer reduction by 20 percent is not conducive to wheat growth and leads to yield reduction, it can effectively improve the agricultural production efficiency of fertilizer. Therefore, it is necessary to apply fertilizer reasonably and carry out further research on fertilizer reduction and alternative measures.

Key words: wheat; reduction of fertilizer application; yield; fertilizer use efficiency

收稿日期: 2019-06-03

基金项目: 上海市科技兴农项目[农科推广字(2017)第 1-2 号]

作者简介: 黄璐璐(1994-), 女, 本科, 助理农艺师, 研究方向: 土壤肥料与植物营养, email: 419780891@qq.com;

林天杰(1966-), 男, 研究员, 研究方向: 土壤肥料与植物营养, email: tianjielinli@163.com

为片面追求作物产量而过度施用化肥容易导致氮磷流失,地表水体富营养化,不利于生态环境保护和农业可持续发展^[1]。氮磷钾是小麦生产中起到主要作用的大量元素,其中,氮肥在小麦生产中的需求最大,对作物增产效果也最显著,但是过量施用氮肥导致氮肥利用率偏低,合理的氮肥运筹比例是小麦获得高产的关键^[2-3]。

很多研究都表明,适量减肥并没有导致作物产量显著下降,而且改善了作物品质、提高了肥料利用率和经济效益,降低了养分的环境损失和污染,达到节肥增效的目的^[4-7]。为减少化肥用量,提高化肥利用效率,减少化肥流失对环境的影响,农业部提出到2020年全国化肥使用量零增长,上海市也提出从2015年到2020年全市化肥用量减少20%的目标。

本研究通过小麦田间试验,探索化肥减量下的小麦生长和氮磷钾肥料利用率变化,为指导小麦合理施肥、化肥减施增效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验地

试验于2017年10月至2018年6月在上海市

崇明区三星镇新安村进行。供试土壤为水稻土,试验前耕层0~20 cm,验地土壤pH值为7.34,养分含量分别为水解性氮155.87 mg/kg,有效磷31 mg/kg,速效钾71 mg/kg,有机质24.9 g/kg。试验品种为扬麦20。供试肥料:复混肥料含N、P₂O₅、K₂O均为15%,尿素含N46%,碳铵含N17%,过磷酸钙含P₂O₅12%,氯化钾含K₂O60%。

1.2 试验设计

试验设9处理3重复(表1)。小区随机区组排列,小区面积80 m²。9个处理分别为:CK(空白区);T1:常规施肥缺氮区;T2:常规施肥缺磷区;T3:常规施肥缺钾区;T4:常规施肥区;T5:减肥20%区(比常规氮磷钾均减量20%);T6:减肥20%缺氮区;T7:减肥20%缺磷区;T8:减肥20%缺钾区。除肥料处理不同外,其他田间栽培管理措施同常规。

1.3 样品采集与检测方法

1.3.1 土壤理化性质测定方法

试验实施前采集0~20 cm基础土样,测定基本理化性状。在施肥之前采集苗床和试验大田土壤样品,以“S”型的布点方式,用不锈钢取土器采集耕作层深度10~20cm的土壤15点,混合后去除小石块、植

表1 不同处理肥料运筹

Tab. 1 Fertilizer treatment design scheme

kg/hm²

编号 Number	处理 Treatment	基肥 Base fertilizer				苗肥 Tiller fertilizer	返青肥 Striking root fertilizer	孕穗肥 Booting fertilizer		总用量 Total		
		复混肥	碳酸氢铵	过磷酸钙	氯化钾			尿素	尿素	尿素	尿素	N
CK	空白									0	0	0
T1	缺氮			333.75	78.3					0	40.05	46.95
T2	缺磷		600		78.3	105	97.5	105	105	291.75	0	46.95
T3	缺钾		600	333.75		105	97.5	105	105	291.75	40.05	0
T4	常规	225	483	333.75	78.3	112.5	90	90	90	291.75	40.05	46.95
T5	-20%常规	153	262.5	267	62.55	105	90	82.5	82.5	233.25	32.1	37.8
T6	-20%缺氮			267	62.55					0	32.1	37.5
T7	-20%缺磷	0	375	0	62.55	97.2	91.5	90	90	233.4	0	37.5
T8	-20%缺钾	0	375	267	0	97.2	91.5	90	90	233.4	32.1	0

物残根残枝等杂物。自然风干后,采用四分法留取1.5 kg备用待测。参照《土壤农化分析》^[8]进行土壤指标测定:土壤pH用pH计法,有机质用油浴加热-重铬酸钾容量法,全氮用凯氏定氮法,有效磷用钼锑抗比色法,速效钾用乙酸铵浸提-火焰光度法,碱解氮用碱解扩散法,亚硝酸盐用紫外分光光度法。

1.3.2 田间考察、测产方法

分蘖后期,采集有代表性的5株,用钢卷尺测量株高,株高为植株从露出土壤根部至顶端的距离。叶绿素用SPAD-502plus叶绿素仪测量小麦剑叶的叶尖、中部和基部的SPAD值,取其平均数作为叶片的SPAD值。

有效穗数:除每穗结实不满5粒不计以外,凡抽

穗结实的均为有效穗,以“万穗/hm²”表示;每穗实粒数:包括每穗上的实粒和已脱落的总数,以“粒/穗”表示。千粒重:以晒干扬净(粳谷标准含水率14.5%)为标准,混匀取样,任取1 000粒称重,以2次重量相差不大于3%为准,计千粒重,以“g”表示。

1.3.3 植株和籽粒养分含量的测定方法

在分蘖期及成熟期分别取5株长势均匀一致的植株,分蘖期为地上植株,成熟期为植株和籽粒两部分,在105℃迅速杀青30 min,然后在75℃下烘干至恒重,测定全氮、全磷、全钾含量。全氮用自动定氮仪法^[9],全磷用钼锑抗比色法^[10],全钾用火焰光度计法^[11]。

1.4 数据处理方法

氮(磷、钾)吸收量(kg/hm²)=[籽粒产量×籽粒(磷、钾)含量+秸秆产量×秸秆(磷、钾)含量]/100。

化肥氮肥利用率=(施氮区地上部氮素吸收量-缺氮区地上部氮素吸收量)/施氮量×100%,化学磷肥、钾肥利用率计算同此方法。

氮肥农学效率=(施氮区籽粒产量-缺氮区籽粒产量)/施氮量,磷、钾肥农学效率计算同此方法。

数据汇总分析采用Excel 2007,方差分析采用DPS V7.05,多重比较采用LSD法。

2 结果与分析

2.1 化肥减量对小麦植株性状的影响

各处理中空白区(CK)、常规施肥缺氮区(T1)、常规减肥20%区缺氮(T6)的苗期株高、叶绿素SPAD值、后期株高、穗长均极显著低于其他处理,表明氮肥对小麦生长发育影响最大。小麦常规施肥缺磷、缺钾区(T2、T3)、常规减肥20%缺磷、缺钾区(T7、T8),常规施肥缺氮区(T1)与常规减肥20%缺氮区(T6)的前后期株高以及穗长均无显著差异,常规区(T4)极显著高于常规减肥20%区(T5),表明在缺氮缺磷或缺钾的情况下化肥减施20%对前后期株高、穗长影响不大,在常规减肥20%的情况小麦穗长和株高长势较弱。小麦苗期植株的叶绿素SPAD值在常规施肥缺磷缺钾区(T2、T3)、常规减肥20%缺磷缺钾区(T7、T8)以及常规区(T4)、常规减肥20%区(T5)以处理间无显著差异,表明磷钾肥以及常规化肥减施20%对小麦苗期植株的叶绿素SPAD值影响不大(表2)。

表2 小麦化肥减量对植株性状的影响

Tab. 2 Effects of fertilizer reduction on plant traits of wheat

编号 Number	处理 Treatment	分蘖期 Tillering period		成熟期 Mature period	
		株高/cm Plant height	叶绿素 SPAD	株高/cm Plant height	穗长/cm Panicle length
CK	空白	50.67±2.08cC	32.60±2.70cB	75.55±3.24cD	6.77±0.34dD
T1	缺氮	49.67±4.16cC	34.30±3.11cB	77.78±2.01cCD	7.23±0.60 dCD
T2	缺磷	59.00±2.00bB	45.63±4.04abA	83.22±0.67bBC	8.86±0.33abAB
T3	缺钾	59.67±2.08bB	44.27±2.87bA	85.33±2.65bB	8.61±0.66abcAB
T4	常规	68.33±1.53aA	49.93±3.52aA	90.89±1.83aA	9.25±0.05 aA
T5	-20%常规	59.50±5.27bB	46.13±3.13abA	84.11±1.71bB	8.25±0.20bcB
T6	-20%缺氮	50.33±0.58cC	33.87±3.13cB	77.56±3.42cD	8.08±0.40cBC
T7	-20%缺磷	60.67±2.57bB	45.23±2.64abA	84.35±0.81bB	8.57±0.37abcAB
T8	-20%缺钾	59.93±1.30bB	47.33±4.37abA	84.75±1.34bB	8.88±0.16 abAB

注:同列数据后不同小写字母表示差异达5%显著水平;同列数据后不同大写字母表示差异达1%水平显著水平。下同。

Note: Values followed by different lower-case letters in the same column are significantly different at 5% level ($P<0.05$). Values followed by different capital letters in the same column are significantly different at 1% level ($P<0.01$). The same as below.

2.2 化肥减量对小麦产量的影响

常规施肥T4的有效穗、实粒数和千粒重最大,其中有效穗、千粒重显著或极显著高于其他处理(表3),表明减肥20%、不施磷肥或钾肥等情况下对小麦产量形成均有显著性的影响;缺氮T1的有效穗、实粒数和千粒重均极显著低于缺磷T2、缺钾T3

和常规施肥T4,表明氮肥对小麦结实影响最大;空白CK的有效穗极显著小于缺氮T1,但实粒数与千粒重间无显著性差异,表明磷、钾肥对有效分蘖及成穗影响显著。

不同处理间小麦产量的变化也与上述情况相似。常规施肥T4的产量极显著高于其他所有处

理,减肥 20% T5 的产量比常规 T4 极显著下降(表 3),表明在本试验条件下,减少施肥量 20% 会严重影响小麦产量,氮、磷、钾肥对小麦均有显著增产作用;缺氮处理 T1、T6 的产量极显著低于缺磷、缺钾处理 T2、T3、T7 和 T8,表明氮肥增产效果显著

高于磷肥或钾肥;空白 CK 与缺氮 T1、T6 间无显著差异,但常规处理 T4 比缺磷 T2、缺钾 T3 产量极显著增加,减肥 20% 时也一样,不施氮时磷、钾肥对产量没有影响,施氮条件下,磷、钾肥对小麦有显著性增产效果,表明氮肥与磷、钾肥之间有协同效应。

表 3 小麦化肥减量对产量的影响

Tab. 3 Effects of fertilizer reduction on wheat yield

编号 Number	处理 Treatment	有效穗/(万·hm ⁻²) Effective ear	实粒数/(粒·穗 ⁻¹) Filled grains	千粒重/g Thousand-grain weight	产量/(kg·hm ⁻²) Yield
CK	空白	271.65±15.34dD	29.88±0.74cC	38.18±0.52cB	2 649.6±281.55cC
T1	缺氮	314.85±22.60cC	32.35±1.17cC	38.43±1.01 cB	2 887.65±246.15cC
T2	缺磷	388.05±15.61abB	44.54±0.88aA	40.11±0.73bA	6 082.2±485.25bB
T3	缺钾	384.75±13.11bAB	44.56±1.15aA	40.13±0.26bA	6 052.2±407.7bB
T4	常规	410.25±5.43aA	44.16±1.26aA	41.14±0.59 aA	7 452.45±157.5aA
T5	-20%常规	376.65±12.77bAB	43.12±1.63aA	40.05±0.14 bA	6 328.5±207.45bB
T6	-20%缺氮	264.45±9.19dD	36.38±1.37bB	38.14±0.29cB	2 869.8±397.05 cC
T7	-20%缺磷	368.25±20.97bB	43.58±4.47aA	39.92±0.51 bA	5 784.75±85.95bB
T8	-20%缺钾	371.25±13.36bB	43.25±0.75aA	39.97±0.53 bA	5 790.6±330.75 bB

2.3 化肥减量对小麦养分吸收量的影响

各施肥处理的小麦氮磷钾吸收量均高于空白区(CK),常规减肥 20% 处理(T5)的氮磷钾吸收量均显著低于常规处理(T4)。各常规减肥 20% 处理(T6、T7、T8)的氮素及钾素吸收量均低于各常规处理(T1、T2、T3),但均无显著性差异。常规处理(T2、T3)的磷素吸收量均高于减肥 20% 处理(T7、

T8),其中常规缺钾减肥 20% 处理(T8)显著低于常规施肥缺钾(T3)处理,说明在不施钾肥的情况下,氮肥与磷肥的减施一定程度上影响小麦磷素的吸收。缺氮减肥 20% 处理(T6)的磷素积累量相比高于常规施肥缺氮处理(T1),处理间无显著性差异,说明磷钾肥的减施有利于磷素吸收,而氮肥减施不利于磷素积累。

表 4 小麦化肥减量对小麦养分吸收量的影响

Tab. 4 Effects of fertilizer reduction on nutrient uptake of wheat

编号 Number	处理 Treatment	吸氮量 N uptake	吸磷量 P ₂ O ₅ uptake	吸钾量 K ₂ O uptake
CK	空白	33.90±6.99dD	28.63±5.74fG	43.60±11.25dE
T1	缺氮	46.95±6.28 dD	37.89±2.76efFG	64.05±9.46dD
T2	缺磷	172.01±24.91cC	71.78±2.19cCD	146.11±14.87bB
T3	缺钾	179.05±8.45cBC	73.55±12.69cC	99.87±7.43cC
T4	常规	275.65±10.06aA	121.91±11.87aA	180.5±4.16aA
T5	-20%常规	217.25±7.44bB	92.92±7.70bB	148.99±11.83bB
T6	-20%缺氮	36.94±10.25dD	48.96±4.64deEF	63.95±7.68dD
T7	-20%缺磷	148.67±12.25cC	69.62±3.01cCD	132.21±14.29bB
T8	-20%缺钾	168.32±45.42cC	55.44±5.69dDE	92.94±17.74cC

2.4 小麦化肥减量对肥料利用率的影响

小麦的氮磷钾肥利用率均在常规化肥减量 20% 的情况下有明显提高,在常规化肥减量 20% 的情况下氮肥和磷肥的肥料利用率显著高于常规施肥的利用率(表 5),钾肥的肥料利用率呈极显提高。钾

肥的肥料利用率由常规施肥的 44.97% 增长到 55.85%。氮肥次之,由常规施肥的 29.60% 增长到 37.33%,磷肥利用率相对增长较少,由常规施肥的 19.87% 增长到 26.69%。这表明常规化肥减施 20% 能有效提高小麦的氮、磷、钾三要素的肥料利用率。

表5 小麦化肥减量对肥料利用率的影响

Tab. 5 Effect of fertilizer reduction on fertilizer utilization efficiency of wheat

编号 Number	处理 Treatment	项目 Item	肥料利用率/% Fertilizer use efficiency			
			I	II	III	平均值
T4	常规	氮肥利用率	32.87	25.67	30.27	29.60±3.65bA
		磷肥利用率	19.36	20.72	22.15	19.87±2.80bA
		钾肥利用率	36.13	48.71	50.07	44.97±7.69bB
T5	常规减肥20%	氮肥利用率	38.08	36.72	37.20	37.33±0.69aA
		磷肥利用率	26.47	27.83	25.76	26.69±1.05aA
		钾肥利用率	44.87	60.50	62.19	55.85±9.55aA

2.5 小麦化肥减量对肥料农学效率的影响

减肥20%处理(T7、T8、T5)的氮肥农学效率分别极显著高于各常规区(T2、T3、T4)(表6),表明在减肥20%的处理下能极显著提高氮肥的农学效率。磷肥的农学效率在减肥20%的处理下(T5、T8)分别极显著高于常规处理(T4、T3),钾肥的农学效率同样在

减肥20%的处理下(T7、T5)分别极显著高于常规处理(T2、T4),即减肥20%的处理下能极显著提高磷、钾肥的农学效率。常规缺氮处理(T1)与常规减肥20%缺氮处理(T6)的磷、钾农学效率均显著低于其他处理,这表明不施氮肥会显著降低磷钾肥的农学效率,进一步证明了氮和磷、氮和钾之间存在协同吸收作用。

表6 小麦化肥减量对农学效率的影响

Tab. 6 Effect of fertilizer reduction on agronomic efficiency of wheat

编号 Number	处理 Treatment	氮肥 Nitrogen fertilizer	磷肥 Phosphate fertilizer	钾肥 Potassic fertilizer
CK	空白	/	/	/
T1	常规施肥缺N	/	72.10±6.14dC	61.50±5.24dC
T2	常规施肥缺P	20.85±1.66bC	/	129.54±10.34bB
T3	常规施肥缺K	20.74±1.40bC	151.12±10.18bB	/
T4	常规	21.69±0.71bBC	158.01±5.18bB	134.79±4.42bB
T5	常规减肥20%	25.36±0.64aA	184.25±4.63aA	156.47±3.93aA
T6	缺N减肥20%	/	89.40±12.37cC	76.53±10.59cC
T7	缺P减肥20%	24.78±0.37aAB	/	154.26±2.29aA
T8	缺K减肥20%	24.81±1.42aAB	180.39±10.30aA	/

3 结论与讨论

氮肥是影响小麦植株性状和收获情况的主要因素,在合理的用量范围内,氮肥可以促进分蘖,增加有效穗数,产量也随着氮肥的增施而增加^[12]。本试验中缺氮区的植株性状和收获情况都显著差于其他处理,常规减肥20%会影响小麦植株生长。在常规减肥20%的情况小麦穗长和株高长势较弱,磷钾肥以及常规化肥减施20%对小麦苗期植株的叶绿素影响不大。常规减肥20%处理的小麦植株氮磷钾吸收量均低于常规处理,表明化肥减施不利于植株的氮磷钾积累,达不到小麦生长过程中对养分的需求,导致减肥处理的长势相对较弱于常规处理。

作物的产量取决于穗数、穗粒数和千粒重之间的协调,其中粒重是产量的后期决定因子^[13]。本试验条件下常规施肥有效穗、实粒数和千粒重最大,其中有效穗、千粒重显著性或极显著高于其他处理,常规减肥20%会使小麦的千粒重减少,产量出现显著减少。其中小麦的实粒数以及有效穗同样受磷钾肥的影响,在缺氮情况下施磷钾肥减量20%也使其数量明显降低。

过量施肥,施肥结构不合理等是造成肥料利用率较低的主要原因,不仅造成肥料浪费,增加施肥成本,同时加重环境面源污染。在本试验条件下,氮磷钾肥的利用率与农学效率在常规减肥20%时都有较显著提高,说明了适当的减施化肥能有效提高肥料的农业生产效率,这与王道中等研究结果一致^[14]。

综上,在本试验中,小麦常规施肥情况下,氮、磷、钾肥减少20%用量,虽然可以有效提高化肥利用效率和农学效率,但会造成显著减产。许多研究表明,与单施化肥相比,有机肥与化肥配施作物产量不会出现明显波动^[15-17],尤其是长期施用能够保持较好的产量稳定性^[18]。因此,在当前减肥形势下,大幅减少化肥用量的同时,适量增施有机肥以补充作物对氮磷钾养分的吸收,可能会避免产量降低的不利影响。

参考文献:

- [1] 闫湘,金继运,何萍,等. 提高肥料利用率技术研究进展[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(2): 450-459.
- [2] 魏凤珍,李金才,王成雨,等. 氮肥运筹模式对冬小麦氮素吸收利用的影响[J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(1): 123-128.
- [3] 郜峰,刘国涛,韩勇,等. 不同氮肥运筹对小麦群体产量及氮肥利用率的影响[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(24): 23-24, 27.
- [4] 杜加银,茹美,倪吾钟. 减氮控磷稳钾施肥对水稻产量及养分累积的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(3): 523-533.
- [5] 王道中,张成军,郭熙盛,等. 减量施肥对水稻生长及氮素利用率的影响[J]. *土壤通报*, 2012, 43(1): 161-165.
- [6] 李小波,刘晓津,赖玉嫦,等. “薯-稻-稻”轮作模式下双季稻施肥减量研究[J]. *热带作物学报*, 2016, 37(10): 1877-1881.
- [7] 刘学军,巨晓棠,张福锁. 减量施氮对冬小麦-夏玉米种植体系中氮肥利用与平衡的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 458-462.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 145-196.
- [9] 农业部. 植株全氮含量测定 自动定氮仪法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [10] 农业部. 植株全磷含量测定 钼锑抗比色法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [11] 农业部. 植株全钾含量测定 火焰光度计法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [12] 扶艳艳. 氮素形态对小麦产量及氮肥利用率的影响[D]. 郑州: 河南科技大学, 2012.
- [13] 李世清,邵明安,李紫燕,等. 小麦籽粒灌浆特征及影响因素的研究进展[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(11): 2031-2039.
- [14] 王道中,张成军,郭熙盛. 减量施肥对水稻生长及氮素利用率的影响[J]. *土壤通报*, 2012, 43(1): 161-165.
- [15] 陆强,王继琛,李静,等. 秸秆还田与有机无机肥配施在稻麦轮作体系下对籽粒产量及氮素利用的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2014, 37(6): 66-74.
- [16] 徐明岗,李冬初,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.
- [17] 田亨达,张丽,张坚超,等. 苏南地区稻麦轮作系统对不同有机无机复混肥的响应[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(11): 2868-2874.
- [18] 马力,杨林章,沈明星,等. 基于长期定位试验的典型稻麦轮作区作物产量稳定性研究[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(4): 117-124.

(上接第115页)

- [28] 孙美. 玫瑰香葡萄需水需肥规律研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.
- [29] 李蔚,李新旭,雷喜红,等. 不同浓度营养液对番茄无土栽培幼苗生长的影响[J]. *蔬菜*, 2019(1): 18-22.
- [30] 丁慧霞,吉家曾,陈增举,等. 温室内温度和营养液浓度对万寿菊花期的影响研究[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24(24): 43-44.
- [31] 马万征,戴珊珊,肖新,等. 不同浓度营养液对黄瓜营养元素含量的影响研究[J]. *大庆师范学院学报*, 2018, 38(6): 107-110.
- [32] 张旭东. 不同营养液浓度对“早夏黑”葡萄营养生长及叶片矿质元素积累的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.
- [33] 李淑红,王磊,史文婷,等. 不同营养液浓度对“巨峰”葡萄生长发育和果实品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2018, 27(3): 394-401.
- [34] Choi S, NIHHS R, Choi G, *et al.* Optimum nutrient concentration to improve growth and quality of strawberry cultivars ‘Berrystar’ and ‘Jukhyang’ in hydroponics[J]. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 2017, 26(4): 424-431.
- [35] Clark J R, Creech D, Austin M E, *et al.* Foliar elemental analysis of southern highbush, rabbiteye and highbush blueberries in the southern united states[J]. *HortScience*, 1994, 29(7): 735-738.
- [36] 刘爱玲. 设施栽培葡萄生长发育与肥水吸收规律研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.