

生物炭有机肥对榨菜主要性状·产量和品质的影响及效益分析

徐茜, 肖波, 杨梅*, 宗洪霞, 李保证 (重庆三峡农业科学院, 重庆 404155)

摘要 针对重庆榨菜产区土壤酸化、肥力下降, 榨菜产量降低、品质变差、种植效益减少的问题, 开展了生物炭有机肥对榨菜主要性状、产量、品质及效益的影响研究。结果表明, 榨菜优良地方品种“永安小叶”在增施生物炭有机肥的情况下, 其株高、开展度显著增加, 单株叶重和瘤茎重明显增加, 瘤茎皮筋减少, 空心率略有增大, 干物率增加, 粗蛋白含量增加, 叶片产量增加显著, 瘤茎产量提高, 收益增加, 榨菜种植效益/成本均大于未施生物炭有机肥的常规处理, 在常规施肥条件下, 增施生物炭有机肥 1 050 kg/hm² 时, 瘤茎产量达 46 904.25 kg/hm², 净收益 8 507.55 元/hm², 效益/成本达 1.43, 榨菜提质增效明显。

关键词 榨菜; 生物炭有机肥; 产量; 品质; 效益

中图分类号 S637 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)18-0164-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.18.040

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect and Benefit Analysis of Biochar-based Fertilizer on the Characteristics, Yield and Quality of Mustard Tuber
XU Qian, XIAO Bo, YANG Mei et al (Chongqing Three Gorges Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 404155)

Abstract In recent years, there are some problems in Chongqing mustard production area, such as soil acidification, fertility decline, yield decline, quality deterioration and planting benefit reduction. The effects of biochar organic fertilizer on main characters, yield, quality and benefit of mustard were studied. The results showed that the plant height, development degree, leaf weight per plant and tuber weight of Yongganxiaoye, an excellent local variety of mustard tuber, increased significantly with the application of biochar-based fertilizer, while the skin gluten of tuber decreased, the hollow rate increased slightly, the dry matter rate increased and the crude protein content increased under the condition of conventional fertilization and increasing application of biochar organic fertilizer, the yield of tuber reached 46 904.25 kg/hm², the net income was 8 507.55 yuan/hm², the benefit/cost was 1.43, and the quality and efficiency of tuber were improved significantly.

Key words Mustard tuber; Biochar-based fertilizer; Yield; Quality; Benefit

茎瘤芥(*Brassica juncea* var. *tumida* Tsen et Lee), 又名青菜头, 膨大的瘤状茎为产品器官, 榨菜是以青菜头为原料腌制而成的一种酱腌菜, 青菜头(榨菜)种植 1898 年始于重庆涪陵, 1935 年引入浙江余姚, 至 20 世纪 70 年代末遍及部分省市零星种植, 是具有中国特色的食物, 与法国酸黄瓜、德国甜酸甘蓝并称世界三大名腌菜。经过 100 多年的发展, 榨菜凭借其独特的味道和方便快捷的食用特点, 已成为人民生活中不可缺少的佐餐调味品。由于受到气候及环境的限制, 青菜头目前在我国主要集中在种植于重庆、四川眉山和浙江地区, 重庆、四川及浙江 3 省青菜头产量占比合计超过 90%。重庆是全国榨菜种植的最大优质产区之一, 常年面积近 10 万 hm², 是重庆市优势特色效益作物。目前重庆榨菜种植优势区土壤酸化、肥力水平下降, 导致榨菜产量品质降低、效益减少, 农户种植积极性受挫, 榨菜产业面临衰退等系列问题。近年来, 生物炭(biochar)在增加作物产量及改善作物品质、实现废弃生物质资源化利用等方面具有多重效益^[1-3], 生物炭有机肥料是以生物炭为载体, 采用复混方法制成的肥料, 可以结合作物的需肥规律使肥料缓慢释放养分, 从而提高养分利用率, 既能保持生物炭的优点, 又能弥补其养分不足的缺点^[4], 因生物炭材料的加入使其具有较高的养分持留能力和土壤改良作用, 生物炭能降低养分损失, 提高肥料养分的利用率^[5]。目前, 生物炭有机肥在小白菜、黄瓜、花生、水稻、生菜、油菜、玉米、高粱、红枣等多种作物上的应用研究已见报道^[1-2, 5-11], 而在榨菜生产方面鲜见报道, 榨菜品种“永安小

叶”是重庆市渝东南农业科学院发掘的地方品种, 其适应性强, 丰产稳产, 品质优良, 是重庆主栽品种之一, 在重庆榨菜生产中不可或缺。因此, 笔者以“永安小叶”为材料, 研究其在常规施肥的条件下, 增施生物炭有机肥对其性状、产量、品质的影响, 分析其效益, 以期生物炭有机肥在榨菜生产上的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验材料为“永安小叶”, 由重庆市渝东南农业科学院提供。

1.2 试验地概况 试验安排在重庆市梁平区蟠龙镇重庆三峡农业科学院基地, 海拔 760 m, 黄色豆粉泥, 前作马铃薯, 土壤 pH 5.4(酸性), 有机质 21.5 g/kg(低), 碱解氮(N) 62.7 mg/kg(低), 有效磷(P) 17.3 mg/kg(高), 速效钾(K) 183.1 mg/kg(高), 全量硼(B) 0.583 g/kg, 全量锌(Zn) 1.28 g/kg, 全量铁(Fe) 13.9 g/kg, 全量钙(Ca) 3.70 g/kg, 全量锰(Mn) 0.862 g/kg。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计。在常规 1 hm² 施用尿素 600 kg、氯化钾 225 kg、钙镁磷肥 450 kg、有机肥 1 875 kg 的基础上开展增施生物炭有机肥试验, 随机区组设计, 设 8 个处理(编号为①~⑧), 依次为 1 hm² 施用生物炭有机肥 0、600、750、900、1 050、1 200、1 350、1 500 kg, 生物炭有机肥由河南土豆帮作物科学生产, 有效成分: 有机质 ≥ 50%、蛋白质 ≥ 40%、氨基酸 ≥ 10%、NPK ≥ 5%, 含枯草芽孢杆菌+巨大芽孢杆菌, 有效活菌数 ≥ 2 亿/g。重复 3 次, 小区面积 6.8 m²(1.7 m × 4.0 m), 5 行区, 行株距 0.33 m × 0.33 m, 每小区栽 60 株, 密度 88 245 株/hm²。肥料使用方案见表 1。

1.3.2 育苗。2019 年 9 月 9 日育苗, 苗床 1 hm² 施过磷酸钙

225 kg, 尿素(N 含量 46%) 22.5 kg, 幼苗 2 叶、4 叶期均结合
病虫防治叶面喷施 0.3% 的磷酸二氢钾和 0.4% 的尿素。移栽
前 1 d 防治病虫一次。

1.3.3 大田期肥料使用方法。有机肥在大田整地时撒施, 生
物炭有机肥和钙镁磷肥移栽时作底肥一次性窝施, 氮肥和钾
肥按 2:8 分 2 次在移栽后 15、45 d 作追肥施用。

表 1 肥料使用方案
Table 1 Fertilizer use plan

处理 Treatment	肥料用量 Fertilizer dosage//kg/hm ²					肥料成本 Fertilizer cost 元/hm ²
	生物炭有机肥 Biochar organic fertilizer	尿素 Urea	氯化钾 Potassium chloride	钙镁磷肥 Calcium magnesium phosphate fertilizer	有机肥 Organic fertilizer	
①(CK)	0	600	225	450	1 875	4 008
②	600	600	225	450	1 875	6 510
③	750	600	225	450	1 875	6 885
④	900	600	225	450	1 875	7 260
⑤	1 050	600	225	450	1 875	7 635
⑥	1 200	600	225	450	1 875	8 010
⑦	1 350	600	225	450	1 875	8 385
⑧	1 500	600	225	450	125	8 760

注:生物炭有机肥(有机质≥50%、蛋白质≥40%、氨基酸≥10%、NPK≥5%、含枯草芽孢杆菌+巨大芽孢杆菌,有效活菌数≥2 亿/g,2 500 元/t);尿素(N 含量 46%,2 500 元/t);氯化钾(K₂O 含量 57%,4 000 元/t);钙镁磷肥(有效磷 P₂O₅≥12%~18%,MgO≥8%,CaO≥25%,SiO₂、Fe、Mn、Cu、Zn 等多种微量元素≥25%,800 元/t);有机肥(有机质含量 45%,N+P₂O₅+K₂O=8%+3%+4%=15%,1 200 元/t)
Note:Biochar organic fertilizer(organic matter ≥ 50%,protein ≥ 40%,amino acid ≥ 10%,NPK ≥ 5%,including *Bacillus subtilis*+*Bacillus megaterium*,effective viable bacteria ≥ 200 million/g,2 500 yuan/t);urea(N content 46%,2 500 yuan/t);potassium chloride(K₂O content 57%,4 000 yuan/t);calcium magnesium phosphate fertilizer(available phosphorus P₂O₅ ≥ 12% ~ 18%,MgO ≥ 8%,CaO ≥ 25%,SiO₂,Fe,Mn,Cu,Zn and other trace elements ≥ 25%,800 yuan/t);organic fertilizer(organic matter content 45%,N+P₂O₅+K₂O = 8+3+4 = 15%,1 200 yuan/t)

1.4 测定项目与方法 记载播种期、出苗期、移栽期、收获期。收获前每小区除边行后连续取中间 10 株调查株高、开展度、瘤茎鲜重、叶片鲜重、瘤茎纵径/横径(菜形指数)、皮筋含量、空心,每处理选取 400 g 左右的瘤茎 5 个检测干物质(烘干法)和粗蛋白(凯氏法测定)含量。收获时调查整小区瘤茎鲜重、叶片鲜重。

1.5 数据分析 数据处理采用 WPS 表格进行统计,新复极差测验进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 主要生育期 试验于 2019 年 9 月 9 日育苗,9 月 16 日出苗,10 月 23 日移栽,2020 年 2 月 12 日收获,生长期 150 d。

2.2 主要农艺性状表现 从表 2 可以看出,各处理株高在 37.4~44.33 cm,处理⑤最高,处理①最低,处理间株高差异达极显著水平,所有生物炭有机肥处理的株高均显著高于对照处理,除处理②外,其余处理株高均与处理①差异极显著。表明增施生物炭有机肥能提高榨菜株高。

开展度以处理⑤最大,为 46.9 cm,对照处理最低,为 41.2 cm,处理间开展度差异达极显著水平,所有生物炭有机肥处理的开展度均极显著高于对照处理,而生物炭有机肥处理间除处理⑤与处理②达显著差异外,其余处理间差异不显著。表明生物炭有机肥对增加植株开展度有利。

表 2 不同处理榨菜主要农艺性状和品质性状
Table 2 Main agronomic characters and quality characters of mustard under different treatments

处理 Treatment	株高 Plant height cm	开展度 Development degree cm	单株叶片重 Leaf weight per plant g/株	单株瘤茎重 Weight of tumor stem per plant g/株	菜形指数 Vegetable shape index	皮筋重 Tendon weight g/株	空心率 Hollow ratio %	干物质 Dry matter %	粗蛋白 Crude protein %
①	37.40 dC	41.20 cB	314.00 bB	388.00 bB	0.78	26.00	9.33	5.66 cC	29.28
②	40.13 cBC	44.68 bA	384.67 aA	486.67 aA	0.83	23.33	10.00	5.89 bBC	31.09
③	41.60 bcAB	45.02 abA	390.67 aA	496.00 aA	0.83	24.00	11.00	6.03 bAB	31.36
④	43.67 abA	45.85 abA	385.33 aA	496.67 aA	0.76	24.00	11.33	5.87 bBC	31.89
⑤	44.33 aA	46.90 aA	426.00 aA	529.33 aA	0.82	25.33	11.67	5.92 bB	32.52
⑥	43.13 abAB	45.23 abA	386.00 aA	509.33 aA	0.81	20.00	13.00	5.92 bB	33.31
⑦	43.47 abA	45.03 abA	398.00 aA	507.67 aA	0.84	25.33	14.33	5.87 bBC	33.73
⑧	43.07 abAB	45.53 abA	392.33 aA	498.00 aA	0.77	20.00	14.67	6.27 aA	32.86

注:粗蛋白以干基计。同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示不同处理间差异极显著($P<0.01$)
Note:Crude protein is calculated on a dry basis.Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level;different capital letters indicated significant difference at 0.01 level

各处理榨菜单株叶片重在 314~426 g,以处理⑤最重,对照处理①最轻,处理差异达极显著水平,增施生物炭有机肥的所有处理均与对照处理①差异达极显著水平,而生物炭有

机肥处理间则无显著差异。
单株瘤茎重在 388.0~529.33 g,以处理⑤最重,对照处理①最轻,处理间差异达极显著水平,增施生物炭有机肥的所

有处理均与对照处理①差异极显著,而生物炭有机肥处理间则无显著差异。

菜形指数在 0.77~0.84,处理间无显著差异;单株皮筋重在 20~26 g,处理①最高,处理间差异不显著;空心率在 9.33%~14.67%,处理①最低,处理⑧最高,表明增施生物炭有机肥对菜形指数无影响,对降低皮筋有利,使空心增加。

2.3 主要品质性状 瘤茎干物质含量以处理⑧最高,为 6.27%,处理①最低,为 5.66%,处理间差异达极显著水平,所有增施生物炭有机肥处理的干物质含量均与处理①差异显著;除处理③外,生物炭有机肥最高用量的处理⑧与其他生物炭有机肥处理间差异达极显著水平。表明生物炭有机肥能在一定程度上增加瘤茎干物质含量。

粗蛋白含量在 29.28%~33.73%,处理⑦最高,处理①最低,各处理差异不显著,但增施生物炭有机肥处理均高于未施微肥处理①,表明生物炭有机肥处理增加了榨菜粗蛋白含量(表 2)。

2.4 叶片产量 叶片产量以处理⑥最高,达 33 442.8 kg/hm²,处理①最低,为 27 883.8 kg/hm²。方差分析结果表明,处理间差异达显著水平,未使用生物炭有机肥处理与其他处理差异均显著,而生物炭有机肥处理间差异不显著(表 3)。

表 3 不同处理叶片产量
Table 3 Leaf yield of different treatments

处理 Treatment	小区平均 叶片产量 Plot leaf yield kg	产量 Yield kg/hm ²	位次 Rank	比 CK± Compared with CK//%
①(CK)	18.96 bA	27 883.80	8	0
②	21.75 aA	31 991.85	6	14.74
③	21.48 aA	31 584.90	7	13.27
④	22.72 aA	33 413.40	2	19.83
⑤	22.69 aA	33 364.35	3	19.66
⑥	22.74 aA	33 442.80	1	19.94
⑦	22.23 aA	32 697.75	5	17.26
⑧	22.50 aA	33 089.85	4	18.67

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示不同处理间差异极显著($P<0.01$)
Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level; different capital letters indicated significant difference at 0.01 level

2.5 瘤茎产量 从表 4 可以看出,瘤茎产量以处理⑧最高,产量达 48 002.4 kg/hm²,处理①最低,产量为 36 354.75 kg/hm²,呈随生物炭有机肥的增加而增加的趋势,方差分析结果表明,处理间瘤茎产量差异达极显著水平,未使用生物炭有机肥处理与其他处理差异极显著,而生物炭有机肥处理间差异不显著。

2.6 效益分析 各处理经济效益在 21 887.85~28 801.50 元/hm²,处理⑧经济效益最高,处理①最低;净收益在 4 877.85~8 507.55 元/hm²,以处理⑤最高,处理①最低;增施生物炭有机肥各处理均比对照处理①净收益增加,增加幅度在 2 531.25~3 629.70 元/hm²,处理⑤增加最多,处理⑥增加最少;各处理效益/成本均大于 1,处理②和⑤最高达 1.43,处理①最低为 1.29,表明种植榨菜效益明显,增施生物炭有机肥增效显著(表 5)。

表 4 不同处理瘤茎产量
Table 4 Tumor stem yield of different treatments

处理 Treatment	小区瘤茎平均产量 Plot tumor stem yield//kg	产量 Yield kg/hm ²	比 CK± Compared with CK//%	位次 Rank
①(CK)	24.72 bB	36 354.75	0	8
②	30.02 aA	44 149.20	21.44	7
③	30.23 aA	44 453.25	22.28	6
④	30.69 aA	45 129.75	24.14	5
⑤	31.89 aA	46 904.25	29.02	3
⑥	31.07 aA	45 698.40	25.70	4
⑦	32.34 aA	47 566.05	30.84	2
⑧	32.64 aA	48 002.40	32.04	1

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示不同处理间差异极显著($P<0.01$)
Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level; different capital letters indicated significant difference at 0.01 level

3 结论与讨论

在该试验条件下,榨菜品种“永安小叶”在增施生物炭有机肥条件下,其株高、开展度显著增大,单株叶片和瘤茎重明显增加,瘤茎皮筋减少,空心率略有增大,干物质增加,粗蛋白增加,叶片产量增加显著,瘤茎产量极显著增加,净收益增加,效益/成本均大于 1,处理⑤为最优生物炭有机肥增施用量,即在常规施肥条件下,增施生物炭有机肥 1 050 kg/hm²,瘤茎产量达 46 904.25 kg/hm²,净收益 8 507.55 元/hm²,效益/成本达 1.43,榨菜提质增效明显。

生物炭有机肥的使用使得榨菜株高增加,瘤茎产量极显著增产,与冯海玲等^[9]研究认为高粱各生育时期的株高随着炭基肥施用量的增加而增加、高粱产量随着炭基肥施用量的增大而增大一致。榨菜开展度、叶片产量、单株叶片和瘤茎产量是榨菜生物产量组成部分,试验榨菜土壤为酸性,使用生物炭基肥,这些指标都明显加大或增加,与孟令义^[12]认为的炭基肥各处理增加了酸性土玉米生物产量的结果相一致。

榨菜空心是榨菜栽培上的“四大问题”(先期抽薹、病毒病、空心 and 冻害)之一^[13]。施氮量、海拔对榨菜空心有明显影响,即施氮愈少、海拔愈高,空心愈轻^[14];试验增施生物炭基肥导致空心增加,与肥料增加关系密切,控制或减少空心,应进一步研究生物炭有机肥替代部分尿素以及两者搭配合理用量。

生物炭有机肥可部分替代传统化肥,降低化学肥料的施用量,但不会影响蔬菜产量;同时还能够提高氮素农学利用率和改善果实品质^[15]。试验炭基肥处理瘤茎皮筋减少,干物质增加,粗蛋白增加,榨菜品质改善,与生物炭基肥中所含的钙、锰和锌这些有益元素显著相关,微量元素能够显著提高作物品质。

成本和效益是农业生产关注的永恒主题,节能增效也是榨菜生产的最终目标,该试验中,增施生物炭有机肥,虽然肥料成本上升,但瘤茎产量增加所带来经济收益效果明显,所有生物炭有机肥处理的净收益、效益/成本均增加。因此,在榨菜生产中推广使用生物炭有机肥代替部分化肥,既能减少化肥用量又能增加种植收益,是榨菜产业提质增效、维持产业持续发展有效措施之一。

表 5 不同处理效益分析
Table 5 Benefit analysis of different treatments

处理 Treatment	瘤茎产量 Tuber yield kg/hm ²	经济效益 Economic performance 元/hm ²	肥料成本 Fertilizer cost 元/hm ²	总成本 Total cost 元/hm ²	净收益 Net profit 元/hm ²	净收益比 CK Net income compared with CK//元/hm ²	效益/成本 Benefit/cost
①(CK)	36 354.75	21 887.85	2 760	14 760	4 877.85	0	1.29
②	44 149.20	26 489.55	4 260	16 260	7 979.55	3 101.85	1.43
③	44 453.25	26 671.95	4 635	16 635	7 786.95	2 909.10	1.41
④	45 129.75	27 077.85	5 010	17 010	7 817.85	2 940.00	1.41
⑤	46 904.25	28 142.55	5 385	17 385	8 507.55	3 629.70	1.43
⑥	45 698.40	27 419.10	5 760	17 760	7 409.10	2 531.25	1.37
⑦	47 566.05	28 539.60	6 135	18 135	8 154.60	3 276.75	1.40
⑧	48 002.40	28 801.50	6 510	18 510	6 433.20	3 163.65	1.39

注:经济效益(元/hm²)=本地瘤茎(榨菜原料)最低收购价 0.6 元/kg×10 000 m²产量,总成本(元/hm²)=肥料以外的其他投入 800 元+肥料成本
Note:Economic benefit (yuan/hm²)= the lowest purchase price 0.6 yuan/kg of local tumor stem ×10 000 m², total cost (yuan/hm²)= other inputs 800 yuan except fertilizer+fertilizer cost

参考文献

[1] 李冬,陈蕾,夏阳,等.生物炭改良剂对小白菜生长及低质土壤氮磷利用的影响[J].环境科学学报,2014,34(9):2384-2391.
[2] 冯冰,吴英,李磊,等.生物炭对土壤性质及黄瓜和生菜幼苗生长的影响[J].现代农业科技,2017(24):54-55,57.
[3] 田永强,张正,张倩茹,等.生物炭的研究现状与对策分析[J].山西农业科学,2016,44(5):680-681,714.
[4] 程月琴,徐生,陈文超.浅析江苏省炭基肥料研发和推广应用前景[J].农业与技术,2018,38(18):246-247.
[5] 于立宏,易祯,王一博,等.生物炭基肥料对花生生长及产量的影响研究[J].辽宁农业科学,2017(6):31-34.
[6] 刘善良,常春丽,蒲加军,等.生物炭基肥料在水稻上的应用效果研究[J].现代农业科技,2019(15):5-6.
[7] 徐孟泽,梁敏,李苗苗,等.炭基肥与化肥配施对生菜产量与品质的影响[J].农学学报,2020,10(7):45-49.
[8] 于南卓.生物炭及炭基肥料对小白菜、油菜及玉米的生长和土壤养分的影响[D].泰安:山东农业大学,2018:21-26.
[9] 冯海玲,李向伟.炭基肥料不同施用量对高粱生育性状及产量的影响[J].现代农业,2020(4):32-33.
[10] 袁晶晶,同延安,卢绍辉,等.生物炭与氮肥配施对土壤肥力及红枣产量、品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2017,23(2):468-475.
[11] 王晓燕,方玉凤,庞荔丹,等.生物炭配合有机物料对水稻育秧基质的影响[J].安徽农业科学,2015,43(36):188-191.
[12] 孟令义,王家博,殷大伟.酸性条件下炭基肥对作物干物质积累量及生物产量的影响[J].现代化农业,2020(6):14-15.
[13] 刘佩瑛.中国芥菜[M].北京:中国农业出版社,1996.
[14] 冉瞄瞄,黄君,江波,等.施氮量和海拔条件对榨菜空心发生的影响[J].南方农业,2015,9(16):48-49.
[15] 李大伟,周加顺,潘根兴,等.生物炭基肥施用对蔬菜产量和品质以及氮素农学利用率的影响[J].南京农业大学学报,2016,39(3):433-440.

(上接第 163 页)

率的变化与肥料用量关系更加密切。T25-18-7 由于氮、钾肥用量最少,其氮、钾肥偏生产力最高,同样,其磷肥用量最高,磷肥偏生产力最低。T27-8-10-Zn-S 同时增加了 Zn 和 S,比 T27-8-10、T27-8-10-Zn 和 T27-8-10-S 表现出增加氮、磷、钾肥料偏生产力的趋势,与上一年的结果一致^[14],进一步说明合理配方肥下配 Zn 和 S 有利于生态环境友好发展。

与 T15-15-15-N 相比,N-P₂O₅-K₂O 配方为 27-8-10 增施 Zn 和 S 有利于提高小麦抗倒伏性,主要表现为减少倒 2 节长,提高抗倒伏力和抗倒伏指数。小麦的抗倒伏性与氮、钾大量元素密切相关^[5,15]。N-P₂O₅-K₂O 配方为 27-8-10 减少了氮肥用量,又通过不同释放期的控释尿素与普通尿素配比调控氮素的释放,使之与小麦生长发育匹配,调控小麦有效穗数,降低小麦的株高,构建更加健康合理的小麦群体。同时,在 Zn 和 S 缺乏的土壤,补充这些营养元素,能够在提高小麦 Zn 和 S 吸收和积累的同时,促进氮、钾在韧皮部的转移速率,提高小麦氮素的同化吸收^[17],增加小麦抗干热风的能力^[15]。

参考文献

[1] 罗茂春,田翠婷,李晓娟,等.水稻茎秆形态结构特征和化学成分与抗倒伏关系综述[J].西北植物学报,2007,27(11):2346-2353.
[2] 杨世民,谢力,郑顺林,等.氮肥水平和栽培密度对杂交稻茎秆理化特性与抗倒伏性的影响[J].作物学报,2009,35(1):93-103.
[3] WIERSMA D W, OPLINGER E S, GUY S O. Environment and cultivar

effects on winter wheat response to ethephon plant growth regulator[J]. Agronomy journal, 1986, 78(5): 761-764.
[4] 张志强,付晶,王奉芝,等.小麦抗倒性研究进展[J].安徽农业科学,2013,41(5):2020-2022.
[5] 卢昆阳,尹燕桦,王振林,等.施氮期对小麦茎秆木质素合成的影响及其抗倒伏生理机制[J].作物学报,2014,40(9):1686-1694.
[6] 自由路,杨俐苹.我国农业中的测土配方施肥[J].土壤肥料,2006(2):3-7.
[7] 自由路.高效施肥技术研究的现状与展望[J].中国农业科学,2018,51(11):2116-2125.
[8] 张自立.安徽省土壤有效性微量元素分布研究——V.有效锌的含量与分布[J].安徽农学院学报,1990,17(4):269-274.
[9] 钱晓华,杨平,周学军,等.安徽省土壤有效硫现状及时空分布[J].植物营养与肥料学报,2018,24(5):1357-1364.
[10] 魏凤珍,李金才,王成雨,等.氮肥运筹模式对小麦茎秆抗倒性能的影响[J].作物学报,2008,34(6):1080-1085.
[11] 李金才,尹钧,魏凤珍.播种密度对冬小麦茎秆形态特征和抗倒伏指数的影响[J].作物学报,2005,31(5):662-666.
[12] 张福锁.测土配方施肥技术要览[M].北京:中国农业大学出版社,2006.
[13] 孙义祥,郭跃升,于舜章,等.应用“3414”试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):197-203.
[14] 袁嫚嫚,邹刚,耿维,等.配方肥配施锌肥和硫肥对小麦的提质增效作用[J].农业资源与环境学报,2020,37(4):518-526.
[15] 王少霞,李萌,田霄鸿,等.锌与氮磷钾配合喷施对小麦锌累积、分配及转移的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(2):296-305.
[16] 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.
[17] MOHAMMAD F, NASEEM U. Effect of K application on leaf carbonic anhydrase and nitrate reductase activities, photosynthetic characteristics, NPK and NO₃ contents, growth, and yield of mustard[J]. Photosynthetica, 2006, 44(3):471-473.