



氨基酸配方有机肥对胡麻生长和籽粒产量及品质的影响

杨天庆,牛俊义*

(甘肃省干旱生境作物学重点实验室/甘肃农业大学农学院, 兰州 730070)

摘要:通过田间试验,以不施肥为对照(CK),研究了单施化肥(T_0)、不同比例氨基酸配方有机肥与化肥配施和单施氨基酸配方有机肥(T_{100})对胡麻干物质积累分配规律、产量、品质及氮肥利用效率的影响。结果表明:(1)氨基酸配方有机肥对胡麻出苗率具有明显促进作用,且随着氨基酸配方有机肥施用量的增加胡麻出苗率提高。(2)氨基酸配方有机肥促进了胡麻干物质积累进程,增加了干物质积累总量,如在成熟期时,30%氨基酸配方有机肥与70%化肥配施(T_{30})处理的干物质积累总量最大,比不施肥、单施化肥和单施有机肥处理分别显著增加60.52%、37.01%和29.97%;且 T_{30} 处理的产量与不施肥(CK)、单施化肥(T_0)、单施生物有机肥(T_{100})相比分别增加了72.07%、16.47%、13.30%。(3)不同比例氨基酸配方有机肥与化肥配施的处理下均可改善胡麻的品质,提高胡麻氮肥利用效率,其中在30%氨基酸配方有机肥替代化肥(T_{30})的情况下胡麻干物质积累、产量及亚麻酸含量最高,60%氨基酸配方有机肥替代化肥(T_{60})的情况下胡麻亚油酸含量较高。研究认为,30%氨基酸配方有机肥与70%化肥配施对当地胡麻生产的影响效果最佳。

关键词:氨基酸配方有机肥;干物质;出苗率;品质

中图分类号:Q945.79; S565.9 **文献标志码:**A

Effect of Amino Acid Organic Fertilizer on the Growth, Seed Yield and Quality of Oil Flax

YANG Tianqing, NIU Junyi*

(Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Science, College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, 730070, China)

Abstract: To study the effect of amino acid organic fertilizer and chemical fertilizer application for day matter accumulation, seed yield and quality of oil flax, without fertilizer as contrast under field conditions, we analyzed the single application of fertilizer, the proportion of different formula of amino acid organic manure and chemical fertilizers application and single application of amino acid organic fertilizer formula for flax. The results showed: (1) amino acid organic fertilizer had obvious effect for germination rate, and with the amino acid organic fertilizer increased the germination rate increased. (2) Amino acid organic fertilizer promoted the dry matter accumulation process and increased the total amount of dry matter accumulation of flax. In mature stage, 30% organic fertilizer + 70% chemical fertilizer compared with no fertilizer, 100% chemical fertilizer and 100% organic fertilizer the total dry matter were significantly increased by

收稿日期:2016-03-18;修改稿收到日期:2016-07-11

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-17-GW-9);国家自然科学基金(31660368)

作者简介:杨天庆(1990—),男,在读硕士研究生,主要从事作物栽培学与耕作学研究。E-mail:932860498@qq.com

*通信作者:牛俊义,教授,主要从事作物栽培与生理生态研究。E-mail: niujy@gau.edu.cn

60.52%, 37.01% and 29.97%, respectively. Considering 30% organic fertilizer + 70% chemical fertilizer is the best effect, compared with no fertilization, 100% chemical fertilizer and 100% organic fertilizer, the yield increased by 72.07%, 16.47%, 13.30%, respectively. (3) In the case of 30% organic fertilizer + 70% chemical fertilizer alternative fertilizer, flax dry matter, seed yield and linolenic acid content is the highest, and 60% organic fertilizer + 40% chemical fertilizer alternative fertilizer, flax linoleic acid content is the highest. Considering the 30% organic fertilizer + 70% chemical fertilizer effect on local flax production of the best.

Key words: amino acid organic fertilizer; dry matter; germination rate; quality

胡麻(*Linum usitatissimum* L.),又称油用亚麻^[1],是中国西北、华北等旱作农业区重要的油料作物^[2-4],含油率高达35%~45%^[5],富含的亚麻酸和亚油酸等是具有重要生理功能的不饱和脂肪酸^[6,7]。但由于胡麻生产中不科学、不合理施肥等问题导致胡麻籽粒产量偏低^[8-9]。有研究表明^[10-13],胡麻生长期內所需的肥料相对较多,但又不耐氮肥,肥料的合理施用大大增加了干物质总量和经济系数,从而明显增加了籽粒产量和粗脂肪含量。另一方面,中国胡麻种植中普遍存在重视化肥,轻视有机肥的问题^[14-15],徐明岗等^[16]研究表明,合理施用有机肥对培肥地力和提高作物产量等方面有重要作用。然而近年来,有关有机肥替代化肥的研究多集中在水稻(*Oryza sativa* L.)、大豆(*Glycine max*)、玉米(*Zea mays*)、小麦(*Triticum aestivum* L.)、烤烟(*Nicotiana tabacum* L.)^[17-21]等作物上。另外,有研究表明^[22-24]氨基酸配方有机肥在改善作物品质和提高作物产量方面有显著作用,但有机肥对胡麻产量、品质影响的研究尚鲜有报道。

为了改善当前中国胡麻生产中部分区域不施肥或主要施用化肥的现状,以及胡麻产量低品质不良等问题,本试验在甘肃省兰州市榆中县进行了相关试验,探讨不同比例氨基酸配方有机肥与化肥配施对胡麻出苗率、干物质积累、产量和品质等的影响,旨在为提高胡麻的产量和品质,以及发展胡麻有机栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验于2015年3~8月在甘肃省兰州市榆中县良种繁殖场进行。该地属温带大陆性气候,年均气温6.7℃;年平均降水量350 mm,降雨量集中在5、6、7月,无霜期120 d。供试土壤为砂壤土,耕层(20 cm)土壤基本理化性状为:有机质含量16.56 g·kg⁻¹、全氮含量1.10 g·kg⁻¹、碱解氮含量59.01 mg·kg⁻¹、速效磷含量13.83 mg·kg⁻¹、速效钾含

量127.67 mg·kg⁻¹、pH7.78。试验地前茬为马铃薯,胡麻播种前用拖拉机磙耙2次。

1.2 实验设计

试验采用单因素完全随机区组设计,设不施肥(CK)、单施化肥(T₀)、30%氨基酸配方有机肥+70%化肥(T₃₀)、60%氨基酸配方有机肥+40%化肥(T₆₀)、90%氨基酸配方有机肥+10%化肥(T₉₀)和单施氨基酸配方有机肥(T₁₀₀)6个处理。除不施肥对照(CK)外,其余处理氮、磷、钾施用总量相同,分别为N 90 kg·hm⁻²、P₂O₅ 75 kg·hm⁻²、K₂O 52.5 kg·hm⁻²,T₃₀、T₆₀、T₉₀、T₁₀₀处理先根据配施比例按照全氮含量计算氨基酸配方有机肥施用量,剩余的氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)养分用化肥补足(表1)。氮、磷、钾肥源分别选用尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 18%)和硫酸钾(K₂O 50%),氮、磷、钾化肥均作为基肥施用,氨基酸配方有机肥(由白银丰宝农业科技有限公司生产,总养分为N=15%,P=12%,K=8%,有机质=20%,粗蛋白=8%,氨基酸=7%,中量元素钙=6%)撒施到各小区内,并翻耕入土。每个处理重复3次,共18个小区。小区长5 m,宽4 m,面积20 m²。小区间走道30 cm,重复间走道50 cm,四周设1 m的保护行。品种选用‘张亚2号’,播种量为750万株·hm⁻²,条播,播深3 cm,行距20 cm。各小区总灌溉量一致(2 700 m³·hm⁻²),分别于分茎期(1 200 m³·hm⁻²)、现蕾期(900 m³·hm⁻²)和盛花期(600 m³·hm⁻²)灌溉。2015年3月20日播种,2015年8月6日收获,生育期138 d。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 出苗率 2015年5月9日统计出苗率。按照每行播种量和千粒重数据计算每行播种粒数,再折算出每1 m行长的播种粒数,田间计数每行1 m行长的实际出苗数,计算出苗率,公式如下:

$$\text{出苗率} = \text{实际苗数} / \text{播种粒数}.$$

1.3.2 生物量 分别在苗期、现蕾期、盛花期、子实期和成熟期,即播种后的50 d、75 d、96 d、117 d和138 d,每小区采样20株,在实验室内测定。将植株

表1 不同小区具体施肥情况

Table 1 The fertilizer ratios of different treatments

处理 Treatment	化肥施用量 Application of chemical fertilizer / (kg · hm ⁻²)			氨基酸配方有机肥用量 Application of amino acid organic fertilizer / (kg · hm ⁻²)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
CK	0.0	0.0	0.0	0.0
T ₀	90.0	75.0	52.5	0.0
T ₃₀	63.0	53.4	38.1	180.0
T ₆₀	36.0	31.8	23.7	360.0
T ₉₀	9.0	10.2	9.3	540.0
T ₁₀₀	0.0	0.0	0.0	600.0

注:CK、T₀、T₃₀、T₆₀、T₉₀、T₁₀₀分别表示不施肥、100%化肥、30%有机肥+70%化肥、60%有机肥+40%化肥、90%有机肥+10%化肥和100%的氨基酸配方有机肥;下同

Note: CK, T₀, T₃₀, T₆₀, T₉₀ and T₁₀₀ in dices no fertilizer, 100% chemical fertilizer, 30% organic fertilizer + 70% chemical fertilizer, 60% organic fertilizer + 40% chemical fertilizer, 90% organic fertilizer + 10% chemical fertilizer, 100% organic fertilizer. The same as below

茎秆、叶片、花果等器官分开,于恒温箱中105℃杀青30 min,而后在80℃烘至恒重,测定植株地上部分各器官的干物质重量并计算干物质积累速率,公式如下:

$$\text{干物质积累速率} (\text{g} \cdot \text{d}^{-1}) = \frac{\text{干物质积累总量}}{\text{干物质积累时间}} (\text{g}) / \text{干物质积累时间} (\text{d})$$

1.3.3 产量构成因子 于成熟期在每小区采样15株进行室内考种,分别测定单株分茎数、主茎分枝数、单株蒴果数、单果籽粒数及千粒重等产量构成因子指标。收获时,各小区单收单打,晒干后测得小区实际产量,并计算单位面积实际产量。用于试验采样所造成的产量损失不计。

1.3.4 粒粒亚麻酸和亚油酸含量 收获后,每小区取胡麻籽粒400 g,在甘肃省农业科学院近红外仪品质测定中心测定籽粒亚麻酸、亚油酸含量。

1.3.5 氮肥利用率和收获指数 按Cassman、Fageria等的方法^[25-28],计算氮肥农学利用率、氮肥偏生产力和收获指数,公式如下:

$$\text{氮肥农学利用率} (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) = (\text{施氮区产量} - \text{未施氮区产量}) / \text{氮肥总量}$$

$$\text{氮肥偏生产力} (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) = \text{施氮区产量} / \text{氮肥总量}$$

$$\text{收获指数} (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) = \text{籽粒产量} / \text{地上部总生物量}$$

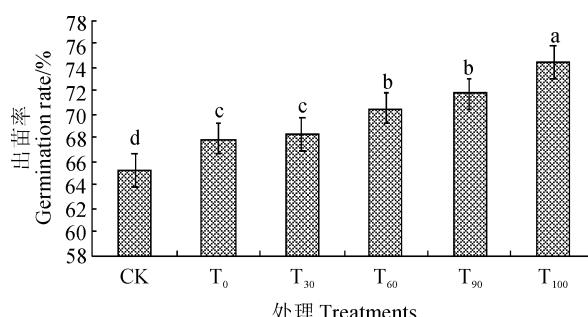
1.4 数据处理

试验数据采用Excel 2007进行数据整理,用SPSS19.0软件进行统计分析,有关干物质积累速率及干物质积累时间参数等计算参照盖钩益等^[29-31]的方法。

2 结果与分析

2.1 氨基酸配方有机肥与化肥配施对胡麻出苗率的影响

胡麻田间出苗率总体上随着氨基酸配方有机肥施用量的增加而逐渐增大,且不同处理间差异较大(图1)。其中,T₁₀₀处理出苗率最高(70.53%),并显著高于其余处理3.73%~14.01%(P<0.01);T₉₀和T₆₀处理出苗率次之,T₃₀和T₀处理出苗率较低,CK的出苗率最低(65.29%);所有施肥处理(T₀~T₁₀₀)出苗率显著高于不施肥对照(CK),所有氨基酸配方有机肥处理(T₃₀~T₁₀₀)出苗率均高于单施化肥处理(T₀)且大多达到显著水平。可见,施用氨基酸配方有机肥有利于提高胡麻田间出苗率。



不同字母表示处理间在0.01水平存在显著性差异;下同

图1 氨基酸配方有机肥与化肥配施条件下胡麻

出苗率的变化

The different normal letters indicate significant difference among treatments at 0.01 level; The same as below

Fig. 1 The germination rate of oil flax seeds with different fertilizer formulas

2.2 氨基酸配方有机肥与化肥配施对胡麻干物质积累及其分配比率的影响

2.2.1 干物质积累总量 不同处理胡麻干物质积累随生育期的总体变化趋势基本相同,但各个处理间又有所差异(图2,A)。在苗期和现蕾期,胡麻干物质积累总量表现为 T_0 处理最高,CK最低; T_0 处理干物质积累总量较其他处理均显著增加,增幅在苗期和现蕾期分别为6.45%~38.27%和11.29%~46.17%($P<0.05$)。现蕾期以后,氨基酸配方有机肥与化肥配施的处理干物质积累总量明显开始增加,并以盛花期和子实期 T_{30} 、 T_{60} 处理干物质积累总量增加最为明显。其中,在盛花期, T_{30} 、 T_{60} 处理干物质积累总量比CK分别增加71.26%和57.09%,比 T_0 处理分别增加43.84%和31.94%,比 T_{100} 处理分别增加37.79%和26.39%($P<0.05$),而 T_{30} 、 T_{60} 处理差异不显著($P>0.05$);在子实期, T_{30} 、 T_{60} 处理干物质积累总量比CK分别增加58.64%和42.62%,比 T_0 处理分别增加53.68%和38.17%,比 T_{100} 处理分别增加32.69%和19.30%($P<0.05$),而 T_{30} 、 T_{60} 处理间差异不显著($P>0.05$);在成熟期, T_{30} 处理干物质积累总量最大,比

CK、 T_0 和 T_{100} 处理分别显著增加60.52%、37.01%和29.97%, T_0 和 T_{100} 处理又比CK分别显著增加17.16%和35.51%($P<0.05$),而 T_0 和 T_{100} 处理间无显著差异($P>0.05$)。

2.2.2 干物质积累速率 不同处理下胡麻干物质积累速率随生育期总体变化趋势基本相同,其在苗期至现蕾期比较慢,在盛花期加快,于子实期达到最大,在成熟期又逐渐减小;各生育时期干物质积累速率存在差异,现蕾期以前各处理间差异较小,现蕾期以后处理差异明显加大,施用氨基酸配方有机肥的各处理干物质积累速率增幅较单施化肥处理大,且各氨基酸配方有机肥配施处理增加幅度又有所不同(图2,B)。其中,现蕾期以前(包括现蕾期), T_0 处理干物质积累速率较高,其在苗期和现蕾期分别比其余处理显著增加5.81%~37.43%和12.53%~48.16%($P<0.05$)。现蕾期以后 T_{30} 处理的干物质积累速率明显增加,其在盛花期和子实期分别比CK、 T_0 和 T_{100} 处理分别显著增加91.30%、75.83%、46.53%和48.31%、64.37%、28.22%($P<0.05$);在成熟期,由于胡麻植株叶片的脱落的程度各个处理有所不同,采得的样品不全,测得的干物

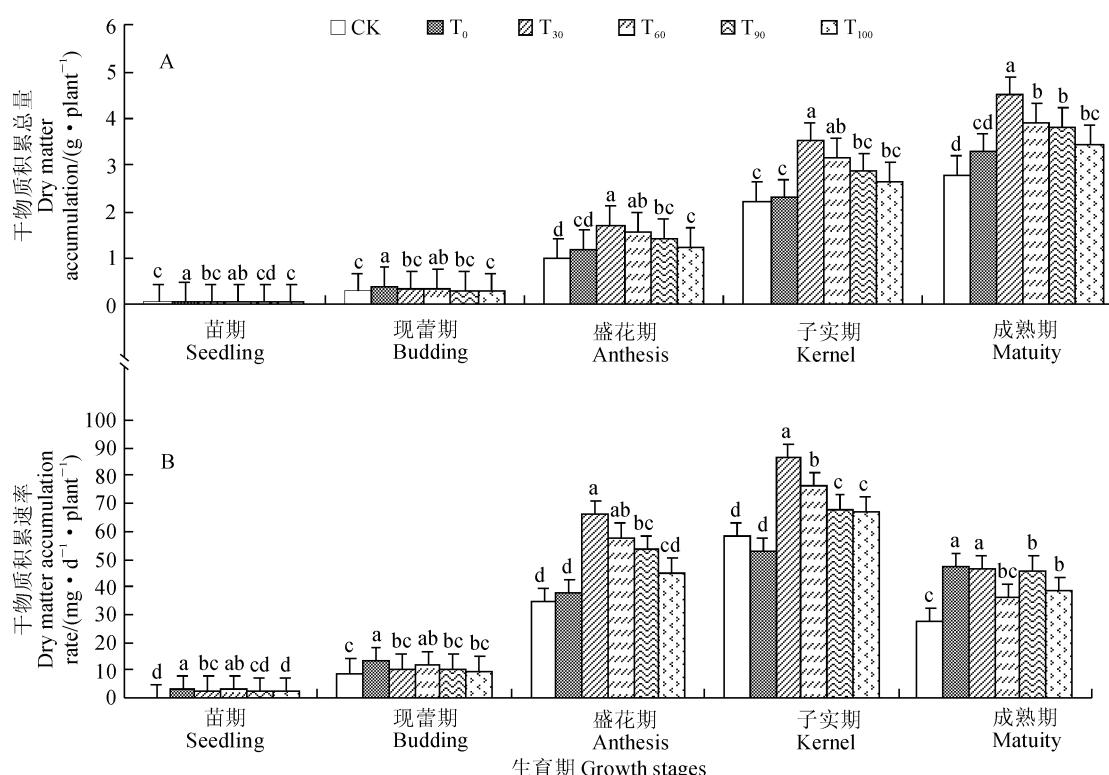


图2 氨基酸配方有机肥与化肥配施对胡麻干物质积累总量(A)及干物质积累速率(B)的影响

Fig. 2 Effect of amino acid formula of organic fertilizer to replace chemical fertilizer on the plant total dry matter accumulation (A) and the rate of dry matter accumulation (B)

质积累速率不同于其他时期,表现为 $T_0 > T_{30} > T_{90} > T_{100} > T_{60} > CK$ 。

2.2.3 各器官干物质积累量及分配比率 施肥有利于胡麻干物质增加。由表 2 可知,在苗期和现蕾期, T_0 处理干物质增加最为明显,其茎干物质积累总量在苗期和现蕾期分别比其他处理显著增加 12.20%~35.71% 和 14.77%~57.81% ($P < 0.05$),其叶片干物质积累总量在各处理中最大,在苗期和现蕾期比其余处理分别显著增加 2.07%~35.29% 和 8.50%~36.05% ($P < 0.05$)。在现蕾期以后,茎干物质积累总量以 T_{30} 处理最高,其在盛花期、子实期和成熟期分别比其他处理显著增加 2.69%~63.06%、11.84%~66.49% 和 11.72%~36.87% ($P < 0.05$);叶片干物质积累总量在盛花期和子实期仍以 T_{30} 最大,其在盛花期和子实期分别比他处理显著增加 6.69%~52.47% 和 9.33%~32.48% ($P < 0.05$),但叶片干物质积累总量在成熟期表现为 $T_{100} > T_{90} > T_{30} > CK > T_0 > T_{60}$;花(蒴

果)干物质积累总量也表现为 T_{30} 处理最大,其在盛花期、子实期和成熟期分别比其他处理显著增加 40.56%~143.72%、11.18%~60.76% 和 16.46%~96.51% ($P < 0.05$)。

同时,随着胡麻生育期的推进,不同氨基酸配方有机肥配施化肥处理胡麻茎的干物质所占比例呈现出先增加后减小的趋势,并在盛花期茎所占比例达到最大值;而同期叶片干物质所占比例逐渐减小,花(蒴果)干物质所占比例呈现出逐渐增大的趋势;全生育期茎、叶片和花(蒴果)干物质所占比例分别为 27.31%~65.28%、2.78%~72.69% 和 0~51.32% (图 3)。

2.3 氨基酸配方有机肥与化肥配施对胡麻籽粒亚麻酸和亚油酸的影响

2.3.1 胡麻亚油酸含量 由图 4, A 可知,不同施肥处理下胡麻籽粒亚油酸含量变化比较明显,并有随着氨基酸配方有机肥施用比例增加而先升后降的变化趋势,具体表现为 T_{60} 、 T_{30} 较高并显著高于其余

表 2 氨基酸配方有机肥与化肥配施对胡麻地上部分干物质分配的影响

Table 2 The allotment of flax above ground dry matter allocation with different fertilizer formulas

处理 Treatment	苗期 Seedling			现蕾期 Budding			盛花期 Anthesis			子实期 Kernel			成熟期 Maturity		
	茎 Straw	叶 Leaf	花 Flower	茎 Straw	叶 Leaf	花 Flower	茎 Straw	叶 Leaf	花 Flower	茎 Straw	叶 Leaf	蒴果 Capsule	茎 Straw	叶 Leaf	蒴果 Capsule
CK	0.01Bb	0.03Cc	0	0.13Cc	0.15Cc	0	0.65Cc	0.22Dd	0.13Cc	0.92Dd	0.35Cc	0.95Cc	1.50Cc	0.13Cc	1.18Dd
T_0	0.02Aa	0.05Aa	0	0.20Aa	0.20Aa	0	0.73Cc	0.26Cc	0.20BCb	0.97Dd	0.35Cc	0.97Cc	1.50Cc	0.11Cc	1.68Cc
T_{30}	0.01Bb	0.03Cc	0	0.14Cc	0.15Cc	0	0.77Cc	0.28BCb	0.20BCb	1.17Cc	0.36Bb	1.13Bb	1.57Cc	0.18Aa	1.71BCb
T_{60}	0.02Ba	0.04Bb	0	0.16BCc	0.16BCb	0	1.06Aa	0.34Aa	0.32Aa	1.53Aa	0.46Aa	1.53Aa	2.05Aa	0.14ABa	2.31Aa
T_{90}	0.02Ba	0.05ABb	0	0.18Bb	0.18Bb	0	1.03ABb	0.32Bb	0.23Bb	1.37Bb	0.43Aa	1.38ABa	1.83Bb	0.11Cc	1.98Bb
T_{100}	0.02Ba	0.04Bb	0	0.16BCc	0.16BCb	0	0.90Bb	0.32Bb	0.22Bb	1.27BCb	0.38Bb	1.22Bb	1.78Bb	0.17Aa	1.88Bb

注:同列不同大小写字母分别表示处理间在 0.01 和 0.05 水平存在显著性差异;下同

Note: Different capital and normal letters indicate significant difference among treatments at 0.01 and 0.05 levels. The same as below

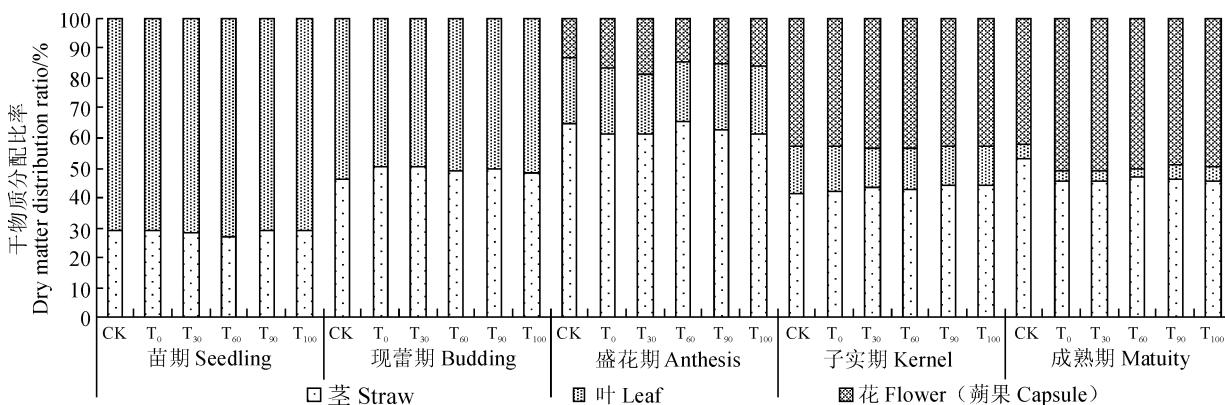


图 3 氨基酸配方有机肥与化肥配施胡麻地上部分干物质分配比率的影响

Fig. 3 The allotment of flax above ground dry matter allocation ratio with different fertilizer formulas

处理, T_{90} 和 T_{100} 处理次之并显著高于 T_0 和 CK, T_0 和 CK 处理较低且两者间无显著差异。其中, T_{60} 处理胡麻籽粒亚油酸含量(13.14%)分别比 CK、 T_0 、 T_{90} 和 T_{100} 处理显著增加了7.09%、7.00%、2.02% 和 2.66% ($P<0.05$), 而与 T_{30} 处理差异不显著 ($P>0.05$); T_{100} 处理分别较 CK 和 T_0 处理显著增加了4.32% 和 4.23% ($P<0.05$)。

2.3.2 胡麻亚麻酸含量 胡麻籽粒中亚麻酸的含量极高, 是中国最为经济的亚麻酸来源之一。由图4, B可见, 不同处理下胡麻籽粒重亚麻酸含量变化趋势与亚油酸含量相似, 同样随着氨基酸配方有机肥施用比例增加而先升后降, 并表现为: $T_{30}>T_{60}>T_{100}>T_{90}>T_0>CK$ 。其中, T_{30} 处理胡麻籽粒亚油酸含量高达 54.89%, 分别比 CK、 T_0 、 T_{90} 和 T_{100} 处理分别显著增加了 2.71%、2.01%、1.46% 和 1.18% ($P<0.05$), 而与 T_{60} 处理差异不显著 ($P>0.05$); T_{60} 处理胡麻籽粒亚麻酸含量较高, 分别比 CK 和 T_0 处理显著增加 1.82% 和 1.12%, 而与 T_{90} 和 T_{100} 处理无显著差异; T_{90} 和 T_{100} 处理分别比 CK 显著增加 1.24% 和 1.52%, 而与 T_0 处理差异不显著; T_0 处理与 CK 之间差异不显著。

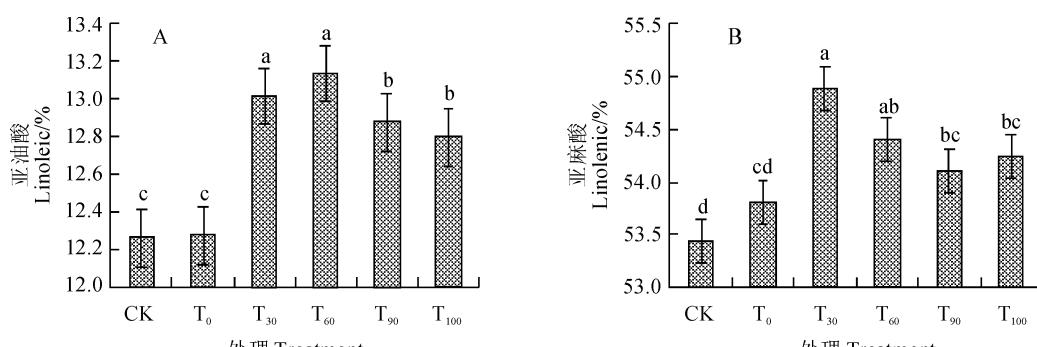


图 4 氨基酸配方有机肥与化肥配施胡麻籽粒亚油酸(A)和亚麻酸(B)影响

Fig. 4 The allotment of flax seed linoleic (A) and linolenic (B) with different fertilizer formulas

以上结果说明氨基酸配方有机肥与化肥配施可以显著提高胡麻籽粒中亚油酸亚和麻酸含量, 在60%有机肥配施化肥下胡麻籽粒中亚油酸含量增加显著, 而30%有机肥配施化肥下更有利于胡麻籽粒中亚麻酸含量的增加。

2.4 氨基酸配方有机肥与化肥配施对胡麻产量及其构成因子的影响

由表3可知, 不同处理下胡麻的单株蒴果数、单果籽粒数、千粒重以、单株产量及单位面积实际产量总体趋势均表现为 $T_{30}>T_{60}>T_{90}>T_{100}>T_0>CK$, 且所有施肥处理均与 CK 差异达到极显著水平 ($P<0.01$)。其中, T_{30} 处理表现最佳, 其单株蒴果数分别比 CK、 T_0 和 T_{100} 处理极显著增加 40.81%、39.11% 和 37.45%, 单果籽粒数增幅分别为 11.49%、9.85% 和 8.73% ($P<0.01$), 千粒重增幅分别为 3.59%、3.28% 和 1.76% ($P<0.05$), 单株产量增幅分别为 62.57%、57.78% 和 52.04% ($P<0.01$)。各处理胡麻实际产量仍以 T_{30} 处理最高并显著高于其余处理 6.9%~72.1%; T_{60} 处理实际产量虽显著低于 T_{30} 处理, 但却较 CK、 T_0 处理分别显著增加 72.07% 和 16.47%, 其与 T_{90} 和 T_{100} 处理无

表 3 氨基酸配方有机肥与化肥配施胡麻产量及其构成因子的影响

Table 3 The flax yield and composition factors with organic fertilizer alternative fertilizer amino acid formula

处理 Treatment	单株蒴果数 Pod number per plant/ (number/plant)	果粒数 Seed number per pod/(grain/fruit)	千粒重 1 000~grain weight/g	单株产量 Output per plant/g	实际产量 Actual output (kg · hm ⁻²)
CK	18.87 ± 0.13Dd	6.70 ± 0.10Cd	8.91 ± 0.05Bc	1.13 ± 0.02Ee	1 025.00 ± 5.77Cd
T_0	19.10 ± 0.08Dd	6.80 ± 0.05Ccd	8.94 ± 0.02ABb	1.16 ± 0.00DEd	1 514.33 ± 25.17Bc
T_{30}	26.57 ± 0.31Aa	7.47 ± 0.02Aa	9.23 ± 0.06Aa	1.83 ± 0.02Aa	1 763.67 ± 30.55Aa
T_{60}	23.00 ± 0.10Bb	7.33 ± 0.02Ab	9.13 ± 0.01Ab	1.54 ± 0.01Bb	1 650.33 ± 28.87ABb
T_{90}	21.30 ± 0.05Cc	7.13 ± 0.02Bb	9.11 ± 0.01Ab	1.38 ± 0.01Cc	1 594.00 ± 57.74Bbc
T_{100}	19.33 ± 0.07Dd	6.87 ± 0.02Cc	9.07 ± 0.04ABb	1.20 ± 0.00Dd	1 556.67 ± 10.00Bbc

显著差异; T_{90} 和 T_{100} 处理实际产量显著高于 CK, 却与 T_0 处理无显著差异 ($P > 0.05$); T_0 处理实际产量较 CK 极显著增加 47.74% ($P < 0.01$)。以上结果说明施肥能显著增加胡麻产量及其构成因素, 且以化肥和有机肥配施效果更好, 并以配施 30% 氨基酸配方有机肥效果最佳。

2.5 氨基酸配方有机肥与化肥配施对胡麻氮肥农学利用率、氮肥偏生产力及收获指数的影响

氮肥农学利用效率是指施用氮肥后胡麻增加的籽粒产量与施用总氮肥量的比值, 它表明施用每千克纯氮后增加胡麻籽粒产量的能力; 氮肥偏生产力是指胡麻施肥后的产量与总氮肥施用量的比值, 它反映了胡麻吸收利用肥料和土壤中氮所产生的边际效益。由表 4 可知, 不同施肥条件下胡麻的氮肥农学利用效率和氮肥偏生产力的变化趋势相同, 均随着氨基酸配方有机肥施用比例的增加先增加后降低, 都以 T_{30} 处理最高并显著高于其余处理, T_0 处理最低。其中, T_{30} 处理氮肥农学利用效率和氮肥偏生产力比其他处理分别显著增加 18.12%~50.95% 和 6.87%~16.46% ($P < 0.05$)。同时, 各处理胡麻收获指数从高到低的顺序依次为: $T_{30} > CK > T_{60} > T_{90} > T_0 > T_{100}$, 表现出随着氨基酸配方有机肥施用比例的增加而降低的趋势; 其中, T_{30} 处理收获指数与 CK 和 T_{60} 处理无显著性差异, 但显著比 T_{90} 、 T_0 、 T_{100} 处理分别显著增加 15.17%、12.74% 和 17.00% ($P < 0.05$)。对照胡麻收获指数较高主要是不施肥的情况下其地上部分总生物量明显低于施肥处理。可见, 适宜比例的氨基酸配方有机肥与化肥配施能显著提高胡麻氮肥农学利用效率、氮肥偏生产力和收获指数。

3 结果与讨论

3.1 配施氨基酸配方有机肥与胡麻生长的关系

王善仙等^[32] 研究表明生物有机肥施用量分别为 2%、4% 及 8% 时, 向日葵种子的出苗率分别显著提高了 56.4%、64.3% 及 85.7%。本研究表明氨基酸配方有机肥替代化肥可以显著提高胡麻的出苗率, 且随着氨基酸配方有机肥施用比例的增加而增加, 并以全部施用氨基酸配方有机肥处理的胡麻出苗率最大, 较其他处理显著提高 3.73%~14.01%。

化肥是通过土壤由植物直接吸收, 而有机肥施入土壤后, 先经微生物分解变为无机形态, 再被植物吸收利用^[33]。本研究结果表明, 在胡麻生育前期氨基酸配方有机肥的作用不明显, 施化肥处理的干物质积累较大, 但随着生育期的推进有机肥的作用逐渐显现, 施氨基酸配方有机肥的处理干物质积累速率都明显加快; 不同比例的氨基酸配方有机肥与化肥配施处理胡麻干物质积累速率随着生育期变化的总体趋势基本相同, 符合植物“慢—快—慢”的生长规律, 即苗期至现蕾期干物质积累速率比较慢, 盛花期干物质积累速率加快, 子实期干物质积累速率达到最大, 成熟期干物质积累速率逐渐减小; T_{30} 处理胡麻干物质积累总量在收获时最大, 分别比 CK、 T_0 和 T_{100} 处理显著提高 63.52%、31.01%、29.97% ($P < 0.05$)。但是, 各个处理干物质积累变化的总体趋势基本相同, 说明不同比例氨基酸配方有机肥与化肥配施虽明显改变了胡麻干物质积累进程, 但不会改变它们的总体趋势, 这与魏景云等^[34] 研究结果一致。

表 4 氨基酸配方有机肥与化肥配施对胡麻氮肥农学利用率、氮肥偏生产力及收获指数的影响

Table 4 Effect of different fertilizer formulas on nitrogen agronomic utilization rate, partial productivity and harvest index of flax

处理 Treatment	农学利用效率 Agronomic use efficiency/(kg · kg ⁻¹)	偏生产力 Partial productivity/ (kg · kg ⁻¹)	收获指数 Harvest index
CK	—	—	0.402 ± 0.008ab
T_0	5.437 ± 0.294Bc	16.826 ± 0.280Bc	0.353 ± 0.030bc
T_{30}	8.207 ± 0.294Aa	19.596 ± 0.339Aa	0.407 ± 0.004a
T_{60}	6.948 ± 0.294ABb	18.337 ± 0.321ABb	0.392 ± 0.004ab
T_{90}	6.322 ± 0.612Bbc	17.711 ± 0.642Bbc	0.361 ± 0.003bc
T_{100}	5.907 ± 0.164Bbc	17.296 ± 0.111Bbc	0.348 ± 0.003c

3.2 配施氨基酸配方有机肥与胡麻籽粒品质的关系

胡麻籽粒中含有5种不同的脂肪酸,其中人体必需的脂肪酸有亚油酸(LA)和 α ~亚麻酸(LNA)两种。它们在人体内不能由其他物质合成、转化得到,只能从食物中摄取,且具有重要的生理功能,因此胡麻籽粒不饱和脂肪酸含量成一个重要品质指标^[6]。本研究表明,氨基酸配方有机肥与化肥配施可以显著提高胡麻籽粒中亚麻酸和亚油酸含量; T_{30} 处理胡麻籽粒亚油酸含量最高(13.14%),分别比CK、 T_0 处理显著增加了7.09%和7.00%,而 T_{30} 处理胡麻籽粒亚油酸含量最高(54.89%),分别比CK、 T_0 处理显著增加2.71%和2.01%($P<0.05$)。这与沈中泉等^[35]在西瓜、烟草等上的研究结论基本一致。

3.3 配施氨基酸配方有机肥与胡麻籽粒产量和氮肥利用效率的关系

有研究表明^[36],与单施化肥相比,配合施用有机肥可以促进水稻分蘖的发生,增加有效分蘖数,提高成穗率、结实率和千粒重,增加水稻产量。本研究表明合理施用氨基酸配方有机肥可以有效增加胡麻单株蒴果数、单果籽粒数和千粒重,进而增加了胡麻单位面积籽粒产量,并以 T_{30} 处理胡麻产量最佳,较

其他处理显著提高6.87%~72.07%($P<0.05$)。同时,肥料利用率是衡量肥料施用是否合理的一项重要指标^[37]。综合产量和肥料利用率因素,适当施用氨基酸配方有机肥不仅能够提高胡麻产量,而且使肥料具有较高的肥料利用率,有效防止肥料的损失以及因施肥过量而带来的环境问题。宋建群^[38]、彭辉辉等^[39]在其他作物上研究结果显示,与单施化肥相比,化肥与有机肥配施有助于增加玉米、烤烟的干物质积累量,提高肥料利用效率,进而达到增产的目的。本研究结果表明,氨基酸配方有机肥与化肥配施处理的胡麻氮肥农学利用效率、氮肥偏生产力及收获指数明显高于单施化肥或有机肥的处理,并以 T_{30} 处理的氮肥农学利用效率、氮肥偏生产力及收获指数均最高。

综上所述,氨基酸配方有机肥可以显著提高胡麻出苗率,并且随着氨基酸配方有机肥施用量的增加而增加,在胡麻生育前期化肥对胡麻干物质积累的影响效果明显,但随着胡麻生育期的推后,有机肥作用越来越明显,在成熟期时30%氨基酸配方有机肥与化肥配施的处理干物质积累总量最大,另外,氨基酸配方有机肥对胡麻品质和产量具有明显的影响作用,综合考虑最适配比为30%氨基酸配方有机肥与70%化肥配施的处理效果最佳。

参考文献:

- [1] 吴兵,高玉红,赵利,等.旧膜再利用方式对旱地胡麻干物质生产及水分利用效率的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(11):1 457-1 463.
WU B, GAO Y H, ZHAO L, et al. Effects of used plastic film disposal patterns on dry matter production and water use efficiency of oil flax in arid areas[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(11): 1 457-1 463.
- [2] 王士强,胡银岗,余奎军,等.小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析[J].中国农业科学,2007,40(11):2 452-2 459.
WANG S Q, HU Y G, SHE K J, et al. Gray relational grade analysis of agronomical and physi-biochemical traits related to drought tolerance in wheat [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(11):2 452-2 459.
- [3] 祁旭升,王兴荣,许军,等.胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J].中国农业科学,2010,43(15):3 076-3 087.
QI X S, WANG X R, XU J, et al. Drought-resistance evaluation of flax germplasm at adult plant stage[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(15):3 076-3 087.
- [4] 赵利,党占海,张建平,等.不同类型胡麻品种资源品质特性及其相关性研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(5):6-9.
ZHAO L, DANG Z H, ZHANG J P, et al. Study on quality characters and correlation of different types of flax germplasm [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(5):6-9.
- [5] 汪磊,严兴初,谭美莲.我国胡麻施肥技术研究进展[J].湖北农业科学,2011,50(2):217-220.
WANG L, YAN X C, TAN M L. Research progress of fertilization technology of flax(*Linum usitatissimum* L.) in China [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, 50(2):217-220.
- [6] 赵利,党占海,张建平.甘肃胡麻地方品种种质资源品质分析[J].中国油料作物学报,2006,28(3):282-286.
ZHAO L, DANG Z H, ZHANG J P. Quality characters of flax land races in Gansu[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2006, 28(3):282-286.
- [7] 施树,赵国华.胡麻籽功能成分的研究与应用进展[J].中国食品添加剂,2007,(6):117-119.
SHI S, ZHAO G H. Research progress on the functional composition of flax seed[J]. *China Food Additives*, 2007, (6):117-119.

- [8] 张树清. 我国氮磷钾养分与合理施肥技术的研究[J]. 磷肥与复肥, 2004, 19(2):65-69.
ZHANG S Q. Research on NPK nutrients and rational fertilization technique in China[J]. *Phosphate& Compound Fertilizer*, 2004, 19(2):65-69.
- [9] 杨学云, 孙本华, 古巧珍, 等. 长期施肥磷素盈亏及其对土壤磷素状况的影响[J]. 西北农业学报, 2007, 16(5):118-123.
YANG X Y, SUN B H, GU Q Z, et al. Phosphorus balances and its effects on soil phosphorus status under a 12-year long-term fertilization[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2007, 16(5):118-123.
- [10] 王立军. 施肥对引黄灌区亚麻产量和品质及生长动态的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006.
- [11] 叶春雷, 罗俊杰, 石有太, 等. 不同肥料配比对旱地胡麻产量及品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015,(2):22-25.
YE C L, LUO J J, SHI Y T, et al. Effects of different fertilizations on yield and quality of benne[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015,(2):22-25.
- [12] 孙芳霞, 牛俊义, 谢亚萍, 等. 氮磷配施对水地胡麻干物质积累规律和产量形成的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, (5):101-106.
SUN F X, NIU J Y, XIE Y P, et al. Effect of nitrogen and phosphorus fertilization on dry matter accumulation law and yield formation of oil flax in irrigated field[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2014, (5):101-106.
- [13] 杨波, 郭丽琢, 牛俊义. 施氮对胡麻养分吸收及产量构成的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014,(1):60-64.
YANG B, GUO L Z, NIU J Y. Effect of nitrogen fertilizer on nutrient accumulation and yield of oil flax[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2014,(1):60-64.
- [14] 杨文耀, 段玉. 氮磷化肥施用量对油用亚麻产量构成因素的影响[J]. 内蒙古农业科技, 1993,(3):10-13.
YANG W Y, DUAN Y. Effect of application amount of nitrogen and phosphorus fertilizer on yield components of oil flax[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 1993,(3):10-13.
- [15] 索全文, 郝虎林, 索凤兰, 等. 氮磷化肥对胡麻产量形成的影响[C]. 内蒙古农业科技土壤肥料专辑, 2001:18-19.
SUO Q Y, HAO H L, SUO F L, et al. Effect of nitrogen and phosphorus fertilizer on yield of flax[C]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology Soil Fertilizer Album*, 2001:18-19.
- [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,(10):3 133-3 139.
XU M G, LI D C, LI J M, et al. Effects of organic manure application combined with chemical fertilizers on nutrients absorption and yield of rice in Hunan of China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008,(10):3 133-3 139.
- [17] 刘守龙, 童成立, 吴金水, 等. 等氮条件下有机无机肥配比对水稻产量的影响探讨[J]. 土壤学报, 2007, 44(1):106-112.
LIU S L, TONG C L, WU J S, et al. Effect of ratio of organic manure/chemical fertilizer in fertilization on rice yield under the same N condition[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(1):106-112.
- [18] 朱宝国, 于忠和, 王囡囡, 等. 有机肥和化肥不同比例配施对大豆产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(1):97-100.
ZHU B G, YU Z H, WANG N N, et al. Effect of Different Proportion Combined Application of Organic and Chemical Fertilizer on Soybean Yield and Quality[J]. *Soybean Science*, 2010, 29(1):97-100.
- [19] 张秀芝, 高洪军, 彭畅, 等. 等氮量投入下有机无机肥配施对玉米产量及氮素利用的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(6):123~127.
ZHANG X Z, GAO H J, PENG C, et al. Effects of combined application of organic manure and chemical fertilizer on maize yield and nitrogen utilization under equal nitrogen rates[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(6):123~127.
- [20] 倪康, 丁维新, 蔡祖聪. 有机无机肥长期定位试验土壤小麦季氨挥发损失及其影响因素研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12):2 614-2 622.
NI K, DING W X, CAI Z C. Ammonia volatilization from soil as affected by long-term application of organic manure and chemical fertilizers during wheat growing season[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12): 2 614-2 622.
- [21] 刘洪华, 赵铭钦, 王付峰, 等. 有机无机肥配施对烤烟挥发性香气物质的影响[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(5):65-71.
LIU H H, ZHAO M Q, WANG F F, et al. Effects of combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer on volatile aroma components in flue-cured tobacco[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2010, 16(5):65-71.
- [22] 韩小斌, 杨超, 许安定, 等. 氨基酸有机肥对植烟土壤及烤烟生长的影响[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2014,(8):6-11.
HAN X B, YANG C, XU A D, et al. On effect application amino acid organic manure on soil and growth of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2014,(8):6-11.
- [23] 魏冰. 氨基酸有机肥喷施甘蓝试验效果初报[J]. 甘肃农业科技, 2006,(3):25-26.
WEI B. Preliminary report on the effect of application of amino acid organic fertilizer on cabbage experiment[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2006,(3):25-26.
- [24] 冯淑云. 甜菜施用氨基酸有机肥效果试验[J]. 新疆农业科技, 2008,(2):16-16.
FENG S Y. Effect of amino acid fertilizer on sugar beet[J]. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, 2008, (2):16-16.
- [25] CASSMAN K G, PENG S, OLK D C, et al. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems[J]. *Field Crops Research*, 1998, 56(1):7-39.

- [26] FAGERIA N K, BALIGAR V C, Methodology for evaluation of lowland rice genotypes for nitrogen use efficiency[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2003, **26**(6):1 315-1 333.
- [27] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002, **35**(9):1 095-1 103.
- [28] PENG S B, HUANG J L, ZHONG X H, et al. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, **35**(9):1 095-1 103.
- [29] RATHKE G W, BEHRENS T, DIEPENBROCK W. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus L.*): A review[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2006, **117**(s 2-3):80-108.
- [30] 盖均镒. 试验统计方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 101-103.
- [31] 赵中华, 刘德章, 南建福. 棉花各器官干物质分配规律的数学模型[J]. 华北农学报, 1997, **12**(3):53-59.
- [32] ZHAO Z H, LIU D Z, NAN J F. Mathematical models of cotton dry matter distribution ratio in different organs[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1997, **12**(3):53-59.
- [33] 李蕾, 娄春恒, 文如镜, 等. 新疆不同密度下棉花干物质积累及其分配规律研究[J]. 西北农业学报, 1996, (2):10-14.
- [34] LI L, LOU C H, WEN R J, et al. Study on the dry-matter accumulation and distribution with various densities in Cotton [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 1996, (2):10-14.
- [35] 王显, 肖跃成, 姚义, 等. 不同生物有机肥对水稻产量及其构成因子的影响[J]. 中国稻米, 2010, **16**(3):50-52.
- [36] WANG X, XIAO Y C, YAO Y, et al. Effects of different bio organic fertilizer on Rice yield and its components[J]. *China Rice*, 2010, **16**(3):50-52.
- [37] 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.
- [38] YAN X, JIN J Y, HE P, et al. Recent advances in technology of increasing fertilizer use efficiency[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, **41**(2):450-459.
- [39] 宋建群, 徐智, 汤利, 等. 不同有机肥对烤烟养分吸收及化肥利用率的影响[J]. 云南农业大学学报, 2015, **30**(3): 471-476.
- [40] SONG J Q, XU Z, TANG L, et al. Effects of different organic fertilizers on nutrient absorption and fertilizer use efficiency of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2015, **30**(3):471-476.
- [41] 彭辉辉, 刘强, 荣湘民, 等. 生物炭、有机肥与化肥配施对春玉米养分利用及产量的影响[J]. 南方农业学报, 2015, **46**(8):1 396-1 400.
- [42] PENG H H, LIU Q, RONG X M, et al. Effects of biochar, organic fertilizer and chemical fertilizer combined application on nutrient utilization and yield of spring maize[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2015, **46**(8):1 396-1 400.

(编辑:裴阿卫)