

施用腐殖酸对夏玉米产量和氮效率的影响

裴瑞杰¹, 袁天佑^{2,3}, 王俊忠², 胡娜², 李雅男²

(¹南阳农业职业学院, 河南南阳 473000; ²河南省土壤肥料站, 郑州 450002; ³甘肃农业大学, 兰州 730070)

摘要:【目的】研究施用腐殖酸对夏玉米产量、氮肥利用及经济效益的影响, 为提高氮肥的增产效益, 减少氮肥对生态环境的污染提供理论指导。【方法】在河南潮土区冬小麦-夏玉米轮作制度下, 于2014年始在河南省博爱县开展田间定位试验, 共设置单施磷钾肥、常规施肥、常规施肥+腐殖酸、常规施肥减氮15%+腐殖酸、常规施肥减氮30%+腐殖酸5个处理。研究不同氮肥运筹下夏玉米植株生长状况、产量及产量构成要素、氮素吸收、累积及分配、氮肥利用效率及经济效益的影响。【结果】单施磷钾肥处理与常规施肥处理相比, 茎粗、穗长、穗粗、叶面积指数分别降低4.61%、8.55%、6.20%、26.91%, 秃顶长增加21.60%。常规施肥较单施磷钾肥处理穗粒数、百粒重、产量分别增加8.01%、10.85%、44.45%, 籽粒氮含量及氮累积量分别降低6.67%、54.07%。另外常规施肥处理产值、纯收益、产投比较单施磷钾肥处理分别增加44.45%、59.80%、43.84%。施用氮肥可以促进夏玉米植株的生长, 提高夏玉米茎粗、穗长、穗粗、叶面积指数, 大幅度提高夏玉米的产量, 增加各部位氮素含量及累积量, 进一步提高夏玉米产值、纯收益和产投比。配施腐殖酸较常规施肥处理相比可以有效改善夏玉米的农艺性状, 提高夏玉米的产量, 促进植株对氮素的累积和提高氮肥的利用率。其中, 以常规施肥减氮15%+腐殖酸处理效果最佳, 与常规施肥相比, 株高、茎粗、穗长分别增加3.73%、2.30%、0.12%, 秃顶长度降低22.45%, 产量增加12.88%, 籽粒氮含量、籽粒氮累积量、地上部总氮累积量、收获指数分别增加2.68%、25.98%、10.70%、13.79%, 氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮肥贡献率、氮肥利用率分别增加57.46%、28.84%、22.23%、59.86%, 纯收益增加8.66%。在常规施肥减氮15%的条件下配施3 000 kg·hm⁻²腐殖酸, 可有效增加夏玉米的产量, 提高氮肥利用效率; 但减氮30%的条件下会导致夏玉米产值和收益降低。【结论】氮肥对夏玉米的生长发育具有重要的作用, 不仅可以促进夏玉米的生长发育, 还可提高产量、提高植株各部位氮含量及累积量, 促进氮元素的吸收及分配, 提高氮肥利用率。但是过量和少量施用氮肥都会引起经济效益和生态环境效益的降低。在施用腐殖酸的基础上, 适宜的氮肥用量才能获得较高的产值和收益。常规施肥减氮15%+3 000 kg·hm⁻²腐殖酸是本研究区域最佳的施肥模式, 在促进夏玉米生长发育的同时, 进一步提高夏玉米产量及构成要素, 促进植株对氮素的吸收及利用, 提高氮肥利用率, 增加夏玉米产值及纯收益。对实现现代化农业生产的高产高效、资源节约和生态环境保护具有重要的意义, 是值得推荐的肥料运筹方式。

关键词: 腐殖酸; 夏玉米; 氮肥; 氮肥效率; 产量

Effects of Application of Humic Acid on Yield, Nitrogen Use Efficiency of Summer Maize

PEI RuiJie¹, YUAN TianYou^{2,3}, WANG JunZhong², HU Na², LI YaNan²

(¹Nanyang Vocational College of Agriculture, Nanyang 473000, Henan; ²Henan Soil and Fertilizer Station, Zhengzhou 450002; ³GanSu Agricultural University, Lanzhou 730070)

Abstract: 【Objective】The effect of humic acid on yield, nitrogen fertilizer utilization and economic benefit of summer maize

收稿日期: 2016-08-01; 接受日期: 2017-02-15

基金项目: 科技部粮食丰产科技工程项目(2013BAD07B07)、河南省政府与中国科学院合作STS项目(KFJ-SW-STS-142)

联系方式: 裴瑞杰, E-mail: nynxp2008@163.com. 通信作者王俊忠, E-mail: wangjz168@vip.sina.com

was studied in order to provide a theoretical basis for increasing in yield of maize benefited from nitrogen fertilizer and reducing nitrogen fertilizer pollution to the ecological environment. **【Method】** A field experiment was started in 2014 in Boai county, Henan province where the cropping system was winter wheat and summer maize rotation and the soil was Fluvo-aquic soil. The experiment included 5 treatments: No N fertilizer (single PK fertilizer), conventional fertilization, conventional fertilization+humic acid, conventional fertilization and nitrogen reduction 15%+humic acid, conventional fertilization and nitrogen reduction 30%+humic acid, and the effects of different nitrogen application on the growth, yield and yield components of summer maize were studied. The effects of different parts of plants on nitrogen uptake, accumulation and distribution, nitrogen use efficiency and economic benefit of summer maize under different fertilization levels were analyzed. **【Result】** Compared with the conventional fertilization treatment, application of P, K fertilizers decreased the stem diameter, ear length, ear diameter, and leaf area index by 4.61%, 8.55%, 6.20%, 26.91%, bald length increased by 21.60%. Compared with single application of P, K fertilizer, conventional fertilizer treatment increased the single grain number per ear, 100-grain weight and yield by 8.01%, 10.85%, and 44.45%, respectively. The nitrogen content and nitrogen accumulation in grain were decreased by 6.67% and 54.07%, in addition, the conventional fertilization treatment increased the production value, net income and input-output ratio by 44.45% and 59.80%, and 43.84%, respectively, showing that nitrogen fertilizer can promote maize plant growth, improve each index of biological characteristics, greatly improve the summer maize, increase the concentration and accumulation of each part of maize plant, and further to improve the maize output value, net income and input-output ratio. Compared with the conventional fertilization treatment, the combination of humic acid and fertilizer could effectively improve the agronomic traits of summer maize, improve the yield of summer maize, promote the accumulation of nitrogen in plant and improve the utilization rate of nitrogen fertilizer. The effect of conventional fertilization with reduced nitrogen by 15% plus humic acid treatment was the best compared with the conventional fertilization, and the plant height, stem diameter, ear length were increased by 3.73%, 2.30%, and 0.12%, the length of bald decreased by 22.45%, the yield increased by 12.88%, grain nitrogen content, the accumulated amount of grain nitrogen, the total accumulated nitrogen amount of aerial part, and the harvest index were increased by 2.68%, 25.98%, 10.70%, and 13.79%, respectively. Nitrogen agronomic efficiency, nitrogen partial productivity, nitrogen contribution rate, and nitrogen utilization rate increased by 57.46%, 28.84%, 22.23%, and 59.86%, respectively. Net income increased by 8.66%. In the conventional fertilization with reduced nitrogen fertilizer by 15% and plus 3 000 kg·hm⁻² of humic acid could effectively increase the yield of summer maize, improve nitrogen use efficiency; but 30% reduction in nitrogen led the output and income of summer maize decreased. **【Conclusion】** Nitrogen fertilizer has positive effects on maize growth and development, not only can promote the growth of summer maize, but also can increase the yield, improve the nitrogen content in different parts of plant, promote the absorption and distribution of nitrogen, improve the utilization rate of nitrogen fertilizer. However, excessive or small amount of nitrogen fertilizer can reduce economic benefits and ecological environment benefit. On the basis of the application of humic acid, the appropriate amount of nitrogen fertilizer could get higher production value and income. The conventional fertilization with nitrogen reduced by 15% plus 3 000 kg·hm⁻² humic acid is the best fertilization mode in the study area. At the same time, while this fertilizer application method not only can promote the growth and development of summer maize, but also can improve the yield and composition of summer maize, promote nitrogen absorption and utilization of plants, improve the utilization of nitrogen fertilizer, increase the output value of summer maize and net income. It is of great significance to realize the high yield and high efficiency, resource conservation and ecological environment protection of modern agricultural production.

Key words: humic acid; summer maize; nitrogen fertilizer; nitrogen fertilizer use efficiency; yield

0 引言

【研究意义】农业的环境友好发展是保障国家粮食安全和生态文明的关键,需要持续的、较高的土壤生产力和土壤肥力来支撑^[1-4]。然而在当前的农业实际生产中,由于化肥的不合理施用,如偏施氮肥、轻有机肥,不仅造成了氮肥资源的极大浪费,氮肥利用率、产量稳定性和增产效益下降,同时,过量施肥还引发了一系列生态环境问题,如土壤退化、地表水

污染以及大气污染等^[3,5-11]。因此,研究施用腐殖酸、减少氮肥用量,提高氮肥利用效率和作物产量对实现农业的环境友好发展具有重要的意义。**【前人研究进展】**腐殖酸是近年来比较热门的新型肥料品种^[12],具有良好的化学活性和生物活性^[13]。由于腐殖酸含有多种活性基团,如羧基、羟基和甲氧基等,其具有较强的离子交换能力和吸附能力^[14]。腐殖酸与氮肥结合施用能促进作物生长,促进作物对氮的吸收,提高肥效^[15-16]。郝青等^[17]研究表明,腐殖酸配施不仅

促进作物生长发育、提升夏玉米产量, 还能培肥地力、提高土壤肥效; 孙建好等^[18]相关研究表明, 腐殖酸与氮、磷配施能够提高冬小麦产量, 增产 305.60 kg·hm⁻², 腐殖酸与磷肥配施能提高大豆产量, 增产 261.90 kg·hm⁻², 施用腐殖酸还对紫花苜蓿产量和品质的提升具有促进作用^[19-20]。配施一定量的腐殖酸不仅可以提高肥效达到活化、改良土壤的作用, 还能刺激作物生长、提高作物产量和品质, 在农田生态系统上有巨大应用的潜力^[21-24]。【本研究切入点】河南潮土区是中国主要的粮食生产区, 夏玉米是最主要的种植作物。已有的腐殖酸研究多集中于叙述性论述或者机理性研究, 鲜有关于腐殖酸直接配施无机肥对玉米生产上的报道, 尤其是在河南潮土区的研究至今仍未有报道。同时, 中国人多地少国情决定了中国新型现代农业必须走集约化、环境友好的发展道路, 必须探究既能在培肥地力的基础上获得作物高产, 又能减轻对生态环境压力的减氮增效技术模式。【拟解决的关键问题】本研究旨在通过施用腐殖酸的基础上减少氮肥用量的氮肥运筹模式, 在保证玉米稳产、增产及农民增收的前提下,

探求提高氮肥利用率, 降低生态环境污染的合理施氮措施, 以期为实现农业生态系统高产、高效和促进农业环境友好发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2014—2015 年在河南省焦作市博爱县坞庄村进行, 供试土壤为潮土。作物种植模式为冬小麦-夏玉米轮作。试验点地势平坦, 0—20 cm 土壤理化性质分别为 pH 8.2 (1:5 水提), 碱解氮 126.81 mg·kg⁻¹, 速效磷 32.56 mg·kg⁻¹, 速效钾 164.63 mg·kg⁻¹, 有机质 18.08 g·kg⁻¹。

1.2 试验设计

在前茬小麦秸秆还田的条件下, 试验设 5 个处理, 如表 1 所示。试验采取随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 48 m² (6 m×8 m), 同时设置保护行和观察道。供试玉米品种为豫安 3 号, 供试肥料品种分别为尿素 (46%), 过磷酸钙 (12%), 氯化钾 (60%)。试验中所使用的腐殖酸均由南阳市沃泰肥业有限公司提供。

表 1 试验各处理施肥情况

Table 1 The state of fertilization in various treatments (kg·hm⁻²)

处理 Treatment	氮 N	磷 P	钾 K	腐殖酸 Humic acid
不施氮肥 No N fertilizer (T1)	0	135.00	60.00	0
常规施肥 Conventional fertilization (T2)	225.00	135.00	60.00	0
常规施肥+腐殖酸 Conventional fertilization+Humic acid (T3)	225.00	135.00	60.00	3000.00
常规施肥减氮 15%+腐殖酸 Conventional fertilization and nitrogen reduction 15%+Humic acid (T4)	191.25	135.00	60.00	3000.00
常规施肥减氮 30%+腐殖酸 Conventional fertilization and nitrogen reduction 30%+Humic acid (T5)	157.50	135.00	60.00	3000.00

试验所有处理 (T1、T2、T3、T4、T5) 全生育期磷钾肥均用做基肥一次性施入。其中 T2、T3、T4、T5 处理的氮肥均采用基追配合的模式 (30%基施, 70%拔节期追施)。腐殖酸全部用做基肥一次性施入。所有处理的种植密度及其他水肥管理措施按照当地高产玉米栽培的管理方法进行, 各项措施由专人在同一个工作日内完成。苗后 3 叶期间苗、5 叶期定苗, 行距 60 cm, 株距 25 cm; 在玉米大喇叭口期用杀螟丹颗粒剂丢心, 防治玉米螟和后期蚜虫; 在玉米完熟期收获。

1.3 测定项目及方法

成熟期选择有代表性的植株, 测定株高、茎粗、

亩穗数等指标; 收获时, 收获中间 2 行玉米, 晒干脱粒称重, 以含水量 14% 的重量折算小区产量; 另取 10 穗玉米考种, 调查穗长、穗行数、穗粒数、行粒数和秃顶长, 测定百粒重。

取每个小区植株样, 分为籽粒、茎、叶和其他, 计算各器官生物量, 并烘干粉碎, 测定各器官氮含量及其累积量, 计算氮肥利用效率。植株样品采用硫酸-双氧水法消煮, 全氮采用凯氏定氮法进行测定^[18]。夏玉米收获后每个处理分别用蛇形 5 点采集 0—100 cm 耕层土壤样品, 每 20 cm 为一层, 样品风干后过 1 mm 和 0.25 mm 筛备用。

以下参数计算公式参考彭少兵等^[25]及邹娟等^[26]

的方法,用以表征肥料的利用效率。

氮素积累量 ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) = 非收获物干重 \times 非收获物氮含量 + 收获物干重 \times 收获物氮含量;

氮肥偏生产力 ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) = 施氮肥区产量 / 施氮肥量;

氮肥农学效率 ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) = (施氮肥区产量 - 不施氮肥区产量) / 施氮肥量;

氮肥利用效率 (%) = (施氮肥区植株地上部氮素积累量 - 不施氮肥区植株地上部氮素积累量) / 施氮量;

氮肥贡献率 (%) = (施氮肥区产量 - 不施氮肥区产量) / 施氮肥区产量 \times 100%。

试验数据均采用 Excel 2003 和 SAS 软件进行统计分析。

2 结果

2.1 施用腐殖酸对夏玉米植株性状的影响

试验结果表明(表 2), T1(单施 PK)处理在夏玉米株高、茎粗、穗长、穗粗、叶面积指数等各项生物学性状指标方面均低于其他各个处理。与 T2(常规施肥)处理相比, T1 处理茎粗、穗长、穗粗、叶面积

指数分别降低 4.61%、8.55%、6.20%、26.91%,其中穗长、穗粗指标差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。T1 处理夏玉米秃顶长在所有处理中最大,较 T2 处理增加 21.60%。施用氮肥可以促进夏玉米植株的生长,提高生物学性状的各个指标,有效降低夏玉米的秃顶长。

与 T2 处理相比, T3(常规施肥+腐殖酸)、T4(常规施肥减氮 15%+腐殖酸)处理在夏玉米株高、茎粗、穗粗、叶面积指数等各项生物学性状指标方面均高于 T2 处理,但是差异并不显著 ($P < 0.05$)。在夏玉米秃顶长指标方面, T3、T4 处理较 T2 处理分别降低 12.24%、22.45%。与 T3 处理相比, T4 处理在株高、茎粗、穗长、叶面积指数等各项生物学性状指标方面均高于 T3 处理。同时,与 T3 处理相比, T4 处理玉米秃顶长降低 11.63%。T5(常规施肥减氮 30%+腐殖酸)处理在各个指标方面均低于 T3 处理。常规施肥的基础上配施一定量的腐殖酸可以促进夏玉米的生长发育,提高夏玉米生长的各项指标。其中在减氮 15%的基础上配施腐殖酸的效果最佳。

表 2 不同施肥处理对夏玉米植株性状的影响

Table 2 Effect of different fertilization treatments on plant characteristics of maize plant

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (cm)	穗长 Ear length (cm)	穗粗 Ear diameter (cm)	叶面积指数 LAI	秃顶长 Bared length (cm)
T1	239.17ab	2.07a	15.29b	4.69b	1.63b	1.25a
T2	241.33ab	2.17a	16.72a	5.00a	2.23ab	0.98ab
T3	247.83a	2.18a	16.58a	5.02a	2.42a	0.86ab
T4	250.33a	2.22a	16.74a	5.01a	2.48a	0.76b
T5	242.67ab	2.12a	15.45ab	4.84ab	2.22ab	0.96ab

表中数据为 2014 年和 2015 年的平均值; 同列内数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同

Data are mean value of 2014 and 2015; Different letters in a column mean significant at the 0.05 level. The same as below

2.2 施用腐殖酸对夏玉米产量及其构成要素的影响

由表 3 可以看出, T1 处理的穗粒数、百粒重、产量等指标在 2014 年、2015 年所有处理中均表现最低。与 T1 处理相比, T2 处理在穗粒数、百粒重、产量两年平均值较 T1 处理分别增加 8.01%、10.85%、44.45%,其中,产量和百粒重差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。施用氮肥能够显著提高夏玉米的产量构成要素,大幅度提高夏玉米产量。

与 T2 处理相比, T3 处理在穗粒数、百粒重、产量等指标方面较 T2 处理两年平均值分别高出 2.60%、0.54%、10.74%。T4 处理两年平均值在百粒重、产量

方面较 T2 处理分别高出 7.71%、12.88%。与 T3 处理相比, T4 处理在百粒重、产量方面两年平均值较 T3 处理分别高出 7.13%、1.94%。然而, T5 处理两年平均穗粒数、百粒重、产量均低于 T2 处理,较 T2 处理分别降低 6.36%、1.15%、9.93%。在常规施肥的基础上配施一定量的腐殖酸可以提高玉米产量及其构成要素,其中在减氮 15%的基础上配施腐殖酸的效果最佳,两年平均产量最高,达到 $12\ 191.25\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,但是在减氮 30%的条件下会导致夏玉米大幅度减产。因此,合理的氮肥运筹是获得夏玉米高产的关键。

2.3 施用腐殖酸对夏玉米植株各器官氮含量的影响

由图 1 可以看出, T1 处理的夏玉米各器官氮含量均低于其他处理。与 T1 处理相比, T2 处理在籽粒、茎、叶、其他各器官氮含量分别高出 6.67%、31.25%、32.61%、55.56%。其中籽粒、叶、其他器官的氮含量差异达到显著水平 ($P < 0.05$), 施用氮肥可以显著提高夏玉米各器官氮含量。

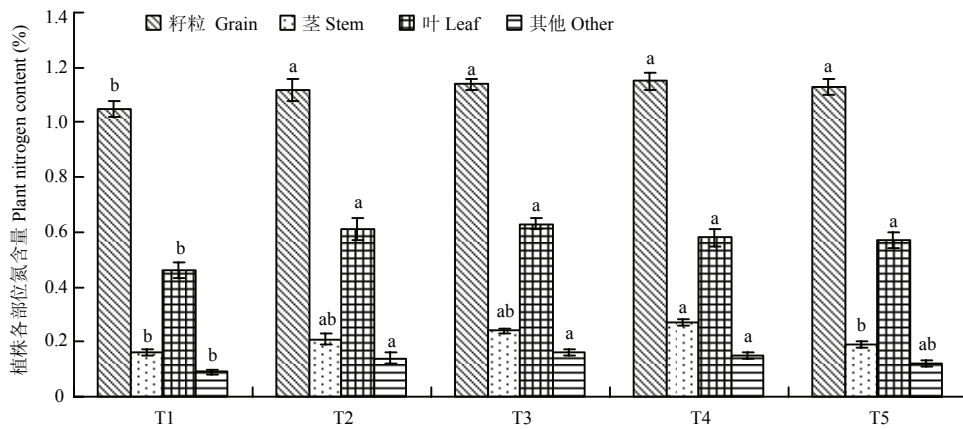
T3 处理在籽粒、茎、叶、其他器官氮含量均高于 T2 处理, 较 T2 处理各器官氮含量分别高出 1.79%、14.29%、3.28%、14.29%。T4 处理较 T2 处理在籽粒、

茎方面分别高出 2.68%、28.57%。T5 处理与 T2 处理相比, 夏玉米籽粒氮含量有所上升, 其他器官氮含量均有所降低。与 T3 处理相比, T4 处理籽粒、茎氮含量分别增加 0.88%、12.50%, 叶、其他器官氮含量分别降低 7.94%、6.25%。在常规施肥的基础上配施一定量的腐殖酸可以显著提高夏玉米各器官氮含量, 并促进氮素向籽粒的转移, 其中以减氮 15% 的处理效果最佳, 较不减氮、减氮 30% 处理更能促进植株各器官对氮素的吸收, 进一步促进氮素由其他器官向籽粒的转移。

表 3 不同处理对夏玉米产量及其构成要素的影响

Table 3 Effect of different fertilizer treatments on yield and it's component

处理 Treatment	2014			2015			2014 年和 2015 年平均 Average of 2014 and 2015			
	穗粒数 Grains per ear	百粒重 100 grain weight (g)	产量 yield (kg·hm ⁻²)	穗粒数 Grains per ear	百粒重 100 grain weight (g)	产量 yield (kg·hm ⁻²)	穗粒数 Grains per ear	百粒重 100 grain weight (g)	产量 Average yield (kg·hm ⁻²)	增产率 Increased rate (%)
T1	568.50d	28.25c	7628.60d	558.10c	28.13c	7324.90c	563.30b	28.19b	7476.75c	—
T2	607.80b	31.24b	10743.00bc	609.00b	31.26b	10857.60ab	608.40ab	31.25a	10800.30ab	44.45
T3	623.80a	31.41b	11509.30ab	624.60a	31.43b	12410.30a	624.20a	31.42a	11959.80a	59.96
T4	601.90bc	33.58a	11897.30a	603.70b	33.74a	12485.20a	602.80ab	33.66a	12191.25a	63.06
T5	571.20d	30.92bc	9755.40c	568.20c	30.86bc	9700.24b	569.70b	30.89a	9727.82b	30.11



图中数据为 2014 年和 2015 年的平均值; 其他为雄穗、苞叶和穗轴等混合样品; 图中不同小写字母表示同一器官不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)
Data are mean value of 2014 and 2015; Others indicate for the tassel, husks and cob and other mixed samples. Different lowercase letters indicate significant differences under various treatments in the same organ at $P < 0.05$

图 1 不同处理对夏玉米各部位氮含量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on the nitrogen content in different parts of summer maize

2.4 施用腐殖酸对夏玉米植株各器官氮累积量的影响

如表 4 所示, 与 T1 处理相比, T2 处理各器官氮累积量均高于 T1 处理, 差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。其中, T2 处理在籽粒、茎、叶、其他器官氮

素累积量和总氮累积量方面较 T1 处理分别高出 54.07%、25.47%、26.73%、48.57%、42.44%, T2 处理的氮素收获指数较 T1 处理高出 8.17%, 氮素收获指数达到 57.57%。施用氮肥可以大幅度提高夏玉米各器

官氮素累积量,提高夏玉米的氮素收获指数。

与 T2 处理相比, T3 处理籽粒、茎、其他器官氮素累积量和总氮累积量较 T2 处理分别高出 14.69%、11.79%、11.85%、9.14%, 氮素收获指数较 T2 处理增加 5.07%, 达到 60.49%; T4 处理与 T2 处理相比, 籽粒、其他器官氮素累积量和总氮累积量分别增加 25.98%、4.08%、10.70%, 茎、叶氮素累积量较 T2 处理分别降低 5.89%、14.72%, T4 处理氮素收获指数达到所有处理最大值, 较 T2 处理高

13.79%。与 T2 处理相比, T5 处理的各器官氮素累积量均低于 T2 处理, 氮素收获指数也有所降低。常规施肥的基础上配施一定量的腐殖酸, 在提升夏玉米地上部的总氮素累积量同时, 降低植株茎、叶和其他部分的氮素累积量, 提升植株籽粒氮累积量, 提升氮素的收获指数。在所有处理中, T4(减氮 15%) 处理效果最佳, 不仅能促进植株对氮素的累积, 提高氮素的收获指数, 更能进一步促进氮素在籽粒中的累积。

表 4 不同施肥处理对夏玉米植株氮积累和分配的影响

Table 4 Effects of different fertilizer treatments on N accumulation and allocation of summer maize plant (kg·hm⁻²)

处理 Treatment	籽粒 Grain	茎 Stem	叶 Leaf	其他 Others	总累积量 Total accumulation	氮素收获指数 Nitrogen harvest index (%)
T1	78.51d	15.55b	44.71b	8.75c	147.52c	53.22a
T2	120.96b	19.51a	56.66a	13.00a	210.13ab	57.57a
T3	138.73ab	21.81a	54.26a	14.54a	229.34a	60.49a
T4	152.39a	18.36ab	48.32a	13.53a	232.61a	65.51a
T5	109.92c	20.08a	52.01a	10.16b	192.17b	57.20a

表中数据为 2014 年和 2015 年的平均值 Table data are mean value of 2014 and 2015

2.5 施用腐殖酸对夏玉米氮肥利用效率的影响

肥料利用状况是肥料运筹是否合理的重要标志, 一般的研究用肥料农学效率、肥料偏生产力、肥料利用效率和肥料贡献率等参数来表示。表 5 表明, 腐殖酸配施无机肥处理 (T3、T4) 氮肥农学效率、氮肥偏生产力、氮肥贡献率、氮肥利用率均高于 T2 处理, 其中氮肥偏生产力、氮肥利用率差异达到显著水平。与 T2 处理相比, T3、T4 处理氮肥农学效率分别增加 27.76%、57.46%, 氮肥偏生产力分别增加 7.79%、28.84%, 氮肥贡献率分别增加 18.49%、22.23%, 氮肥利用率分别增加 30.69%、59.86%。与 T2 处理相比, T5 处理的氮肥偏生产力、氮肥利用率较 T2 处理分别高出 30.02%、1.87%。常规施肥的基础上配施一定量的腐殖酸能提高氮肥的农学效率、氮肥偏生产力、氮肥贡献率和氮肥利用效率。在所有处理中, T4 处理效果最佳, 在减氮 15% 的条件下, 氮肥利用效率、氮肥贡献率、氮肥农学效率均达到最大值, 在减氮 30% 的条件下氮肥利用效率有所降低, 但是仍高于常规施肥处理。

2.6 施用腐殖酸对夏玉米经济效益的影响

由表 6 可知, 较 T1 处理相比, 其他处理产值、纯收益等指标均高于 T1 处理, 且差异达到显著水平

表 5 不同施肥处理对夏玉米氮肥利用效率的影响

Table 5 Effects of different fertilizer treatments on nitrogenous fertilizer utilization efficiency of summer maize

处理 Treatment	氮肥农学效率 Agronomic N use efficiency (kg·kg ⁻¹)	氮肥偏生产力 Partial factor productivity of N fertilizer (kg·kg ⁻¹)	氮肥贡献率 Nitrogen contribution efficiency (%)	氮肥利用率 Recovery efficiency of N fertilizer (%)
T1	—	—	—	—
T2	13.33b	47.50c	28.07ab	27.83c
T3	17.03ab	51.20b	33.26a	36.37b
T4	20.99a	61.20a	34.31a	44.49a
T5	12.95b	61.76a	20.96b	28.35c

表中数据为 2014 年和 2015 年的平均值

Table data are mean value of 2014 and 2015

($P < 0.05$)。其中, T2 处理产值、纯收益、产投比较 T1 处理分别增加 44.45%、59.80%、43.84%, 施用氮肥可以显著提高夏玉米产值、纯收益和产投比。

与 T2 处理相比, T3、T4 处理在产值、纯收益等指标方面均高于 T2 处理, 较 T2 处理产值分别增加 10.74%、12.88%; 纯收益分别增加 5.33%、8.66%; 在产投比方面, T3、T4 处理较 T2 处理降低, 分别降

低 17.46%、13.97%。T5 处理在产值、纯收益、产投比等指标方面均低于 T2 处理, 较 T2 处理分别降低 17.87%、20.89%、36.51%。常规施肥的基础上配施一定量的腐殖酸可以明显增加夏玉米的产值和纯收益。在所有处理中减氮 15% 配施腐殖酸的处理产值

和纯收益最高, 但是减氮 30% 的条件下会导致夏玉米降低产值和收益。由于施用腐殖酸增加了农资投入和其他投入, 其产投比显著低于单施化肥即常规施肥处理。综上可知, T4 处理即减氮 15% 配施腐殖酸在生产中最具有实用价值。

表 6 不同处理对夏玉米经济效益的影响

Table 6 Effects of different fertilizer treatments on economic benefits of summer maize

处理 Treatment	产量 Yield (kg·hm ⁻²)	产值 Yield value (yuan/hm ²)	农资投入 Agricultural inputs (yuan/hm ²)	其他投入 Other inputs (yuan/hm ²)	总投入 Total inputs (yuan/hm ²)	纯收益 Net income (yuan/hm ²)	产投比 Ratio of output to input
T1	7476.75c	13458.15c	1323.00	2900.00	4223.00	9235.15c	2.19c
T2	10800.30ab	19440.54ab	1683.00	3000.00	4683.00	14757.54ab	3.15a
T3	11959.80a	21527.64a	2883.00	3100.00	5983.00	15544.64a	2.60b
T4	12191.25a	21944.25a	2829.00	3080.00	5909.00	16035.25a	2.71b
T5	9727.82b	17510.04b	2775.00	3060.00	5835.00	11675.04b	2.00c

表中数据为 2014 年和 2015 年的平均值; 表中农资投入包括种子、化肥和农药, 其中, 尿素为 1.6 元/kg, 过磷酸钙 0.6 元/kg, 氯化钾为 3.2 元/kg, 腐殖酸 0.4 元/kg。其他投入包括机械作业和人工投入, 2015 年, 玉米市场价格为 1.8 元/kg
Table data are mean value of 2014 and 2015; Agricultural inputs, including seeds, fertilizers and pesticides, among them, urea is 1.6 yuan/kg, superphosphate 0.6 yuan/kg, potassium chloride is 3.2 yuan/kg. Other inputs, including machinery and labor put into operation, straw to field, 2015, the corn market price is 1.8 yuan/kg

3 讨论

氮素是玉米生长所必需的重要元素, 其一般被认为是玉米生长发育最主要的养分限制因子, 氮肥的施用能显著提高玉米产量和改善其成产要素^[27-28]。徐钰等^[29]研究表明, 施用氮肥能明显改善夏玉米的生物学性状, 且能够显著提高玉米产量, 但优化施肥和控释氮肥处理优于高量施氮处理, 说明氮肥投入需要一个适宜量。刘恩科等^[30]研究认为, 长期均衡施用 NPK 或 NPK 与有机肥配合施用, 可以改善玉米植株的生物学性状和提高玉米产量。孙占祥等^[31]研究表明, 施用氮肥能显著提高玉米产量, 但当施氮量高于 200 kg·hm⁻² 时玉米产量不再增加。王友华等^[32]研究表明, 施用氮肥对玉米产量及其构成因素有显著影响, 在施氮量低于 270 kg·hm⁻² 时, 其玉米行粒数、千粒重和产量随施氮量的增加而增加, 但过量施氮不利于玉米产量的提高及其产量构成因素的改善。本试验结果表明施用氮肥可以促进夏玉米植株的生长, 提高生物学性状的各个指标, 有效降低夏玉米的秃顶长, 其中以减氮 15% 的基础上配施腐殖酸的效果最佳。施用腐殖酸的基础上, 实现减氮增效的氮肥减量具有一定的适宜量, 适宜的氮肥施用方式可以显著提高夏玉米产量。

玉米生长发育受养分吸收积累的直接影响, 掌控

玉米植株的氮素吸收积累规律有助于合理运筹氮肥, 提高氮肥利用率和玉米产量^[33]。腐殖酸具有良好的化学活性和生物活性, 施入土壤可以提升土壤有机质含量, 改善土壤环境, 另外腐殖酸中还含有多种活性基团, 如羟基、羧基、甲氧基等, 具有较强的离子交换能力和吸附能力, 起到改良土壤, 释放养分, 土壤肥力的作用, 进一步促进植株对氮素的吸收和累积, 提高氮肥的利用效率。陈振德等^[34]研究表明, 腐殖酸能明显促进玉米植株对 N、P、K 养分的吸收, 但运转分配到籽粒中氮素的相对量较常规施肥低即腐殖酸对氮素的运转分配并未受到同步促进。本研究发现, 施用氮肥可以显著提高夏玉米各器官氮含量, 进而提高夏玉米各器官氮素累积量, 提高夏玉米的氮素收获指数。在常规施肥的基础上配施一定量的腐殖酸更能显著提高夏玉米各器官氮含量, 进而提高夏玉米各器官氮素累积量, 并能促进氮素向籽粒的转移, 降低植株茎、叶、其他部分的氮素累积量, 提升植株籽粒氮累积量, 提升氮素的收获指数。

肥料利用率是表征合理施肥的重要指标, 通常用肥料利用率、肥料功效率、农学效率和肥料偏生产力等参数来表示。本试验中氮肥利用率为氮肥农学效率 12.95—20.99 kg·kg⁻¹、氮肥利用率 27.83%—44.49%、氮肥偏生产力 47.50—61.76 kg·kg⁻¹ 和氮肥贡献率 20.96%—34.31%, 较其他研究相对偏高^[35-39], 与陈振

德等^[34]对腐殖酸的研究一致,施用腐殖酸能显著提高氮肥的利用效率。这同时也反映了目前本研究区域氮肥利用效率有走高的趋势,其主要原因是由于本试验区的施氮量在腐殖酸的配施下相对较低,在 157.5—225 kg·hm⁻²之间,腐殖酸促进了氮素的吸收利用,再加上本试验下不施氮肥区的玉米产量和养分积累量相对较低,用差减法计算出的农学效率和肥料利用率势必较高。这也说明了施用氮肥是夏玉米获得高产的保证,降低施氮量是提高氮肥利用效率的有效措施。腐殖酸配施化肥具有兼顾玉米高产、高效、节肥而不导致土壤养分降低的重要措施。

评价某项技术的社会实际应用价值,不但要有增产效果,最重要的还是经济效益。本研究中,所有施氮处理均获得了较高的夏玉米产值和纯收益,说明施用氮肥是获得高产值和高收益的保证。减氮 15%配施腐殖酸的处理产值和纯收益获得了最高,但是减氮 30%的条件下会导致夏玉米产值和收益降低。这也充分说明了在施用腐殖酸的基础上适宜的氮肥用量才能获得较高的产值和收益。

4 结 论

施用氮肥可以促进夏玉米植株的生长,提高植株性状的各个指标,有效降低夏玉米的秃顶长。施用腐殖酸可以促进夏玉米的生长发育,可以有效改善夏玉米的农艺性状、提高夏玉米的产量、促进植株对氮素的累积和提高氮肥的利用率。其中,以常规施肥减氮 15%+腐殖酸 3 000 kg·hm⁻²处理效果最佳,与常规施肥相比,产量最高达 12 191.25 kg·hm⁻²,增产幅度达 12.88%,籽粒氮含量、籽粒氮累积量、地上部总氮累积量分别增加 1.79%、25.98%、10.70%,氮肥利用效率增加 59.86%,纯收益增加 8.66%。而减氮 30%的条件下会导致夏玉米大幅度减产,夏玉米产值和收益降低。因此,合理的氮肥运筹是获得夏玉米高产高效生态的关键。

References

- [1] 赖庆旺,李茶苟,黄庆海.红壤性水稻土无机肥连施与土壤结构特性的研究.土壤学报,1992,29(2):168-185.
LAI Q W, LI C G, HUANG Q H. Effect of continuous application of inorganic fertilizer on soil structure properties of paddy soil derived from red soil. *Acta Pedologica Sinica*, 1992, 29(2): 168-185. (in Chinese)
- [2] LEIGH R A, JOHNSTON A E. Long-term experiments in agriculture and ecological sciences. *Proceeding of A Conference to Celebrate the 150th Anniversary of Rothamsted Experimental Station*. Cambridge: The UK at University Press, 1994: 14-17.
- [3] 门明新,李新旺,许焱.长期施肥对华北平原潮土作物产量及稳定性的影响.中国农业科学,2008,41(8):2339-2346.
MEN M X, LI X W, XU H. Effects of long-term fertilization on crop yields and stability. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(8): 2339-2346. (in Chinese)
- [4] 刘恩科,赵秉强,李秀英,姜瑞波,李燕婷,HWAT B S.长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响.植物生态学报,2008,32(1):176-182.
LIU E K, ZHAO B Q, LI X Y, JIANG R B, LI Y T, HWAT B S. Biological properties and enzymatic activity of arable soils affected by long-term different fertilization systems. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(1): 176-182. (in Chinese)
- [5] 李燕青,唐继伟,车升国,温延臣,孙文彦,赵秉强.长期施用有机肥与化肥对华北夏玉米 N₂O 和 CO₂ 排放的影响.中国农业科学,2015,48(21):4381-4389.
LI Y Q, TANG J W, CHE S G, WEN Y C, SUN W Y, ZHAO B Q. Effect of organic and inorganic fertilizer on the emission of CO₂ and N₂O from the summer maize field in the North China Plain. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(21): 4381-4389. (in Chinese)
- [6] ANDRASKI T W, BUNDY L G, BRVE K R. Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(4): 1095-1103.
- [7] 朱兆良.我国土壤供氮和化肥氮去向的研究进展.土壤学报,1985,17(1):1-9.
ZHU Z L. Research progress on disposition about soil nitrogen supplying and fertilizer nitrogen for China. *Acta Pedologica Sinica*, 1985, 17(1): 1-9. (in Chinese)
- [8] SUPRAVOGO D M, NOORDWILK K H, CADISCH C. The inherent safety net of an Acrisol: Measuring and modeling retarded leaching mineral nitrogen. *European Journal of Soil Science*, 2002, 53(2): 185-194.
- [9] 吕丽华,董志强,张经廷,张丽华,梁双波,贾秀领,姚海坡.水氮对冬小麦-夏玉米产量及氮利用效应研究.中国农业科学,2014,47(19):3839-3849.
LÜ L H, DONG Z Q, ZHANG J T, ZHANG L H, LIANG S B, JIA X L, YAO H P. Effect of water and nitrogen on yield and nitrogen utilization of winter wheat and summer maize. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(19): 3839-3849. (in Chinese)
- [10] JU X T, XING G X, CHEN X P, ZHANG S L, ZHANG L J, LIU X J, CUI Z L, YIN B, CHRISTIE P, ZHU Z L, ZHANG F S. Reducing

- environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(9): 3041-3046.
- [11] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, SHEN L J, HAN W H, ZHANG W F, CHRISTIE P, GOULDING K W T, VITOUSEK P M, ZHANG F S. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [12] 刘恩洪. 腐殖酸肥的特点及应用. *河北农业科技*, 2008(17): 44.
LIU E H. Characteristics and application of humic acid fertilizer. *Hebei Agricultural Science and Technology*, 2008(17): 44. (in Chinese)
- [13] 梁宗存, 成邵鑫, 武丽萍. 煤中腐殖酸与尿素相互作用机理的研究. *燃料化学学报*, 1999, 27(2): 176-181.
LIANG Z C, CHENG S X, WU L P. Study on the interaction mechanism of humic acid and urea in coal. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 1999, 27(2): 176-181. (in Chinese)
- [14] 孙克刚, 张梦, 李玉顺. 腐殖酸尿素对冬小麦增产效果及氮肥利用率的影响. *腐殖酸*, 2016(3): 18-21.
SUN K G, ZHANG M, LI Y S. Effects of urea humate on winter-wheat yield increase and utilization rate of nitrogen fertilizer. *Humic Acid*, 2016(3): 18-21. (in Chinese)
- [15] 许俊香, 邹国元, 孙钦平, 高利娟, 刘本生, 李吉进. 腐殖酸尿素对土壤氨挥发和玉米生长的影响. *土壤通报*, 2013(4): 934-939.
XU J X, ZOU G Y, SUN Q P, GAO L J, LIU B S, LI J J. Effect of humic acid urea on soil ammonia volatilization and maize growth. *Chinese Journal of Soil Science*, 2013(4): 934-939. (in Chinese)
- [16] 刘增兵, 赵秉强, 林治安. 腐殖酸尿素氨挥发特性及影响因素研究. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(1): 208-213.
LIU Z B, ZHAO B Q, LIN Z A. Ammonia volatilization characteristics and related affecting factors of humic acid urea. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(1): 208-213. (in Chinese)
- [17] 郝青, 梁亚勤, 刘二保. 腐殖酸复混肥对玉米产量及土壤肥力的影响. *山西农业科学*, 2012, 40(8): 853-856.
HAO Q, LIANG Y Q, LIU E B. Effects of humic acid compound fertilizer on maize yield and soil fertility. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2012, 40(8): 853-856. (in Chinese)
- [18] 孙建好, 郭天文, 杨思存, 李娟. 腐殖酸类肥料对小麦/大豆带田产量的影响. *甘肃农业科技*, 2001(1): 35-36.
SUN J H, GUO T W, YANG S C, LI J. Effect of humic acid fertilizer on soybean yield of intercropped wheat. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2001(1): 35-36. (in Chinese)
- [19] 张丽珍, 陈伟, 史静, 刘建荣, 王德宏, 陈本建. 腐殖酸钠对紫花苜蓿生长及生物量的影响. *草业科学*, 2016, 33(1): 101-115.
ZHANG L Z, CHEN W, SHI J, LIU J R, WANG D H, CHEN B J. Effects of sodium humate on growth and biomass of alfalfa. *Pratacultural Science*, 2016, 33(1): 101-115. (in Chinese)
- [20] 张丽珍, 陈本建, 李旭鹏, 汪茜, 武慧娟. 腐殖酸钠对紫花苜蓿营养品质的影响. *草原与草坪*, 2015, 35(6): 71-77.
ZHANG L Z, CHEN B J, LI X P, WANG Q, WU H J. Effects of sodium humate on nutrient quality of alfalfa. *Grassland and Turf*, 2015, 35(6): 71-77. (in Chinese)
- [21] 李丽, 武丽萍, 成绍鑫. 腐殖酸对磷肥增效作用的研究概况. *腐殖酸*, 1998(4): 1-4.
LI L, WU L P, CHENG S X. Positive effect of humic acid to phosphate fertilizer. *Humic Acid*, 1998(4): 1-4. (in Chinese)
- [22] 王振川, 段惠敏, 赵韵琪. 利用风化石生产腐殖酸类肥料的研究. *河北化工*, 1996(4): 15-17.
WANG Z C, DUAN H M, ZHAO Y Q. Study on the production of humic acid fertilizer from airslake-coal. *Hebei Chemical Technology*, 1996(4): 15-17. (in Chinese)
- [23] 陈玉玲. 腐殖酸对植物生理活动的影响. *植物学通报*, 2000, 17(1): 11-16.
CHEN Y L. Effects of humic acids on physiological activities of plants. *Chinese Bulletin of Botany*, 2000, 17(1): 11-16. (in Chinese)
- [24] 刘秀梅, 张夫道, 冯兆滨, 张树清, 何绪生, 王茹芳, 王玉军. 风化石腐殖酸对氮、磷、钾的吸附和解吸特性. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(5): 641-646.
LIU X M, ZHANG F D, FENG Z B, ZHANG S Q, HE X S, WANG R F, WANG Y J. N, P and K adsorption and desorption characteristics of humic acids made from the airslake-coal. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(5): 641-646. (in Chinese)
- [25] 彭少兵, 黄建良, 钟旭华, 杨建昌, 王光火, 邹应斌, 张福锁, 朱庆森, ROLAND B, CHRISTIAN W. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略. *中国农业科学*, 2002, 35(9): 1095-1103.
PENG S B, HUANG J L, ZHONG X H, YANG J C, WANG G H, ZOU Y B, ZHANG F S, ZHU Q S, ROLAND B, CHRISTIAN W. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(9): 1095-1103. (in Chinese)
- [26] 邹娟, 鲁剑巍, 陈防, 李银水. 长江流域油菜氮磷钾肥料利用率现状研究. *作物学报*, 2011, 37(4): 729-734.
ZOU J, LU J W, CHEN F, LI Y S. Status of nutrient use efficiencies of rapeseed in the Yangtze River Basin. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(4): 729-734. (in Chinese)
- [27] JUDITH N, ADRIEN N, MARTIN H. Variations in corn yield and nitrogen uptake in relation to soil attributes and nitrogen availability

- indices. *Soil Science Society of America Journal*, 2009, 73(1): 317-327.
- [28] PRESTERLI T, GROH S, LANDBECK M. Nitrogen uptake and utilization efficiency of European maize hybrids developed under conditions of low and high nitrogen input. *Plant Breed*, 2002, 121(6): 480-486.
- [29] 徐钰, 江丽华, 林海涛, 谭德水, 郑福丽, 高新昊, 刘兆辉. 不同氮肥运筹对玉米产量、效益及土壤硝态氮含量的影响. *土壤通报*, 2011, 5(42): 1196-1199.
- XU Y, JIANG L H, LIN H T, TAN D S, ZHENG F L, GAO X H, LIU Z H. Effects of different nitrogen regulation on maize yield, economic benefit and the content of soil nitrate-N. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 5(42): 1196-1199. (in Chinese)
- [30] 刘恩科, 赵秉强, 胡昌浩, 李秀英, 张夫道. 长期不同施肥制度对玉米产量和品质的影响. *中国农业科学*, 2004, 37(5): 711-716.
- LIU E K, ZHAO B Q, HU C H, LI X Y, ZHANG F D. Effects of long-term fertilization systems on yield and quality of maize. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(5): 711-716. (in Chinese)
- [31] 孙占祥, 邹晓锦, 张鑫, 安景文. 施氮量对玉米产量和氮素利用效率及土壤硝态氮累积的影响. *玉米科学*, 2011, 19(5): 119-123.
- SUN Z X, ZOU X J, ZHANG X, AN J W. Effects of maize yield and application on N utilization and content of soil nitrate. *Journal of Maize Sciences*, 2011, 19(5): 119-123. (in Chinese)
- [32] 王友华, 许海涛, 许波, 张海申, 冯晓曦. 施用氮肥对玉米产量构成因素及其根系生长的影响. *中国土壤与肥料*, 2010(3): 55-57.
- WANG Y H, XU H T, XU B, ZHANG H S, FENG X X. Effects of nitrogen application on yield components and root growth of maize. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2010(3): 55-57. (in Chinese)
- [33] 李潮海, 刘奎, 周苏玫, 栾丽敏. 不同施肥条件下夏玉米光合对生理生态因子的响应. *作物学报*. 2002, 28(2): 265-269.
- LI C H, LIU K, ZHOU S M, LUAN L M. Response of photosynthesis to eco-physiological factors of summer maize on different fertilizer amounts. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(2): 265-269. (in Chinese)
- [34] 陈振德, 何金明, 李祥云, 陈建美. 施用腐殖酸对提高玉米氮肥利用率的研究. *中国生态农业学报*, 2007, 1(15): 52-54.
- CHEN Z D, HE J M, LI X Y, CHEN J M. Studies on increasing N utilizing efficiency in maize by applying humic acid. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 1(15): 52-54. (in Chinese)
- [35] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科技出版社, 1992: 228-231.
- ZHU Z L, WEN Q X. *Soil Nitrogen in China*. Jiangsu: Jiangsu Science and Technology Press, 1992: 228-231. (in Chinese)
- [36] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 崔振岭, 马文奇, 陈新平, 江荣风. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. *土壤学报*, 2008, 45(5): 915-924.
- ZHANG F S, WANG J Q, ZHANG W F, CUI Z L, MA W Q, CHEN X P, JIANG R F. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 915-924. (in Chinese)
- [37] 王宜伦, 李潮海, 谭金芳. 超高产夏玉米植株氮素积累特征及一次性施肥效果研究. *中国农业科学*. 2010, 43(15): 3151-3158.
- WANG Y L, LI C H, TAN J F. Studies on plant nitrogen accumulation characteristics and the effect of single application of base fertilizer on super-high-yield summer maize. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(15): 3151-3158. (in Chinese)
- [38] 赵士诚, 裴雪霞, 何萍. 氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(2): 492-497.
- ZHAO S C, PEI X X, HE P. Effects of reducing and postponing nitrogen application on soil N supply plant N uptake and utilization of summer maize. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(2): 492-497. (in Chinese)
- [39] 王宜伦, 李潮海, 何萍, 金继运, 韩燕来, 张许, 谭金芳. 超高产夏玉米养分限制因子及养分吸收积累规律研究. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(3): 559-566.
- WANG Y L, LI C H, HE P, JIN J Y, HAN Y L, ZHANG X, TAN J F. Nutrient restrictive factors and accumulation of super-high-yield summer maize. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3): 559-566. (in Chinese)

(责任编辑 杨鑫浩)