

棉粕腐植酸肥对土壤团聚体、酶及养分的影响

庞庆阳, 宣毓龙, 蔡 旭, 王雅各, 李万涛, 王开勇

(石河子大学农学院, 新疆 石河子 832000)

摘 要: 采用田间试验方法, 以小麦新春 38 号作为供试品种, 设置 3 个处理: 空白对照、等养分复合肥和等养分棉粕腐植酸复合肥, 研究了棉粕开发的腐植酸水溶性肥料对土壤团聚体、酶和养分的影响。结果表明: 与不施肥处理相比较, 腐植酸肥处理使土壤团聚体含量向 2~0.25 mm 和 > 2 mm 粒级有显著转移; 土壤脲酶活性、过氧化氢酶和碱性磷酸酶活性显著提高, 对蔗糖酶活性差异不明显; 可显著提高碱解氮、速效钾和有效磷含量, 腐植酸肥处理能平均提高全生育期 0~20 cm 土层碱解氮 37.27%、速效磷 42.24%、速效钾 37.02%, 20~40 cm 土层碱解氮提高 15.55%、速效磷提高 61.52%、速效钾提高 57.36%。与等养分复合肥处理相比, 腐植酸肥处理使不同土层土壤团聚体百分含量向 2~0.25 mm 和 > 2 mm 粒级均有转移; 前期抑制土壤脲酶活性, 后期提高壤脲酶活性, 提高过氧化氢酶和碱性磷酸酶活性, 蔗糖酶活性差异不明显; 可提高土壤中碱解氮含量, 显著提高速效钾和速效磷含量, 腐植酸肥处理可平均提高全生育期 0~20 cm 土层碱解氮 5.92%、速效磷 8.8%、速效钾 4.29%, 20~40 cm 土层碱解氮提高 1.9%、速效磷提高 15.39%、速效钾提高 8%。

关键词: 腐植酸肥料; 小麦; 土壤团聚体; 土壤酶; 土壤养分

中图分类号: S141; S154.2 **文献标志码:** A

Effects of cottonseed meal humic acid fertilizer on soil water-stable aggregates, soil enzymes and soil nutrition

PANG Qing-yang, XUAN Yu-long, CAI Xu, WANG Ya-ge, LI Wan-tao, WANG Kai-yong

(College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: A field experiment was conducted to identify the effect of cottonseed meal, a water-soluble humic acid fertilizer, on soil aggregates, enzymes and nutrients. Spring 38 was used as the test wheat variety, and three treatments—CK, equal nutrients compound fertilizer and equal nutrients cottonseed meal humic acid compound fertilizer—were designed in the experiment. The results are as follows. Compared with CK, in the treatment of humic acid fertilizer, percentage composition of soil aggregates at different levels transferred to aggregates (2~0.25 mm and > 2 mm), soil urease activity, the activity of catalase and alkaline phosphatase increased significantly, and there was no significant difference in sucrase activity. Humic acid compound fertilizer increased the soil alkaline hydrolysis nitrogen, available potassium and available phosphorus content at 0~20 cm soil layer by 37.27%, 37.02% and 42.24% respectively in the whole growth stage. And it increased the soil alkaline hydrolysis nitrogen, available potassium and available phosphorus content at 20~40 cm soil layer by 15.55%, 57.36% and 61.52% respectively. Compared with equal nutrients compound fertilizer, equal nutrients cottonseed meal humic acid compound fertilizer transferred percentage composition of soil aggregates at different levels to aggregates (2~0.25 mm and > 2 mm), improved the activity of soil urease, catalase and alkaline phosphatase, and there was no significant difference in sucrose activity. Compared with equal nutrients compound fertilizer, humic acid compound fertilizer increased the soil alkaline hydrolysis nitrogen by 5.92%, available potassium by 4.29% and available phosphorus by 8.8% at 0~20 cm soil layer, and alkaline hydrolysis nitrogen by 1.9%, available phosphorus by 15.39%, available potassium by 8% at 20~40 cm soil layer in the whole growth stage.

Keywords: humic acid fertilizer; soil water-stable aggregates; soil enzymes; soil nutrition

收稿日期: 2016-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(31560169); 国家科技支撑计划项目(2014BAC14B030-2); 国际科技合作项目(2015DFA11660)

作者简介: 庞庆阳(1990—), 男, 河南睢县人, 硕士研究生, 主要从事土壤环境与生态安全研究。E-mail: pqyoo@126.com。

通信作者: 王开勇(1978—), 男, 山东单县人, 副教授, 博士, 主要从事土壤环境与生态安全研究。E-mail: wky20@163.com。

近年来,随着现代农业的迅速发展,化肥生产量及品种也逐渐增多,以获得高产量的农产品,满足众多人口的粮食需求。施肥是影响土壤质量及其可持续利用的重要因素,合理施肥对土壤能够长期、有效的利用有着重要意义^[1]。土壤团聚体是土壤结构的重要物质基础和肥力的重要载体,起着保证和协调土壤中的水肥气热、影响土壤酶的种类和活性、维持和稳定土壤疏松熟化等作用,是影响土壤肥力和土壤质量的重要因素之一^[2-4]。因此团聚体是形成良好的土壤结构的物质基础,能够综合地反映土壤整体的肥力状况^[5]。

土壤酶是土壤的组分之一,主要是由微生物、动植物活体分泌及动植物残骸分解释放于土壤中的一类活性物质,其直接参与土壤中生物化学反应、养分释放,土壤酶活性的大小与土壤养分有一定的关系^[6-7]。土壤养分提供植物生长所必需的矿质元素,同时其也是评价土壤肥力的重要指标^[8]。目前,在农业生产中,虽然施用大量普通肥料能够解决高产作物养分缺乏的矛盾,但存在成本高、环境效益低下以及肥料利用率低的缺陷。腐植酸以其天然环保的自然属性和安全可靠的使用价值,已被广泛应用和关注。腐殖酸具有提高肥料利用率、改良土壤的理化性质等并能快速为作物提供速效养分的作用^[9]。本试验研究了以新疆优势资源棉粕开发的腐植酸肥料对土壤团聚体、酶及养分的影响,旨在探明新型腐植酸复合肥的改土培肥效果及部分可能机理,为改善土壤物理性状和合理培肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验基本概况

试验于 2015 年在新疆石河子大学试验站进行(N44°18′42.37″,E86°03′20.72″),前茬作物为玉米,土壤类型为灰漠土,土壤质地为壤土,0~20 cm 土层土壤理化性质 pH 7.73,全氮 0.5 g·kg⁻¹,有效磷(P)20.40 mg·kg⁻¹,有效钾(K)112 mg·kg⁻¹,有机质 16.19 g·kg⁻¹,盐度(EC1:5) 0.28 dS·m⁻¹。

1.2 试验材料

供试材料为春小麦新春 38 号,供试肥料为以棉粕开发的腐植酸复合肥,用 KOH 溶液作提取剂提取棉粕中腐植酸,取上清液加入尿素、磷酸二氢钾和硫酸钾,配制成腐植酸含量≥30 g·L⁻¹,大量元素含量≥200 g·L⁻¹,其中 N 含量 90 g·L⁻¹,P₂O₅ 含量 55 g·L⁻¹,K₂O 含量 55 g·L⁻¹,N-P-K=18-11-11,pH=5.6 的复合肥,普通常规复合肥(使用尿素、磷酸二氢钾、硫酸钾配制,N-P-K=18-11-11)。

1.3 试验设计

试验于 2015 年 4 月 6 日播种,7 月 8 日收获。试验采用随机区组设计,3 个处理见表 1。

表 1 试验处理
Table 1 Experimental treatments

处理 Treatments	施肥量 Amount of fertilizer
对照 Control	不施肥 No fertilizer
复合肥(NPK) Combined fertilizer	N:270 kg·hm ⁻² 、P ₂ O ₅ :165 kg·hm ⁻² 、 K:165 kg·hm ⁻²
腐植酸复合肥(HNPK) Humic acid combined fertilizer	N:270 kg·hm ⁻² 、P ₂ O ₅ :165 kg·hm ⁻² 、 K:165 kg·hm ⁻²

在小麦拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期追肥比例分别为 35%、25%、25%、15%,追肥在每次取样后第二天进行,总灌水量为 4 500 m³·hm⁻²,全生育期共滴灌 7 次。每个小区面积 9 m²,每个处理重复 3 次,小区之间各设 50 cm 保护行。滴灌带布置一管四行(4 行小麦 1 条滴灌带,行距为 15 cm)。其他各项管理与当地大田生产相同。

1.4 测定项目与方法

采样于小麦拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期、成熟期进行,分别采集 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土样,每个处理 3 个重复,剔除砾石和植物残根,风干后用于测定土壤酶和土壤养分。另外在同位置取土层 0~20 cm 和 20~40 cm 原状土,用于测定土壤团聚体。土壤团聚体采用湿筛法^[10],土壤脲酶活力采用靛酚蓝比色法测定^[11];蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[11];碱性磷酸酶活力采用磷酸苯二钠比色法测定^[12];过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法^[11]。土壤碱解氮采用碱解扩散法,速效钾采用火焰光度法,有效磷采用 Olsen 法测定^[13]。

1.5 数据处理

运用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理和作图,用 SPSS20.0 软件进行统计分析和差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 腐植酸肥对土壤团聚体组成的影响

不同施肥处理对小麦全生育时期土壤水稳定性团聚体的百分含量影响显著(表 2),各处理团聚体的百分含量均为大团聚体>微团聚体。与 CK 相比,腐植酸肥处理从拔节期开始团聚体主要分布在>2 mm 的粒级,并且显著高于 CK,从开花期到成熟期团聚体含量迅速增加,分别为 45.72%、51.23%和

62.42%,增幅为 15.57%、36.14%和 61.54%。在拔节期,大团聚体含量小于 CK,微团聚体大于 CK;随着小麦生长发育,在开花期,大团聚体含量已经大于 CK,并且在灌浆期和成熟期显著高于 CK。与等养分复合肥相比,腐植酸肥处理大团聚体含量始终显

著增加,在成熟期达到了 95.83%,微团聚体含量为 4.17%。说明施肥影响了团聚体粒径分布,使其粒径向 2~0.25 mm 和 >2 mm 转移,增加了大团聚体含量,并且腐植酸肥处理效果显著。

表 2 腐植酸肥对土壤水稳定性团聚体的影响

Table 2 Effects of humic acid fertilizer on soil water-stable aggregates (0~20 cm)

生育期 Growth stage	处理 Treatments	大团聚体 Macro aggregates/%			微团聚体 Micro aggregates/%		
		>2 mm	2~0.25 mm	总和 Sum	0.25~0.053 mm	<0.053 mm	总和 Sum
拔节期 Shooting	CK	41.51a	37.73a	79.24a	9.12b	11.64c	20.70c
	NPK	32.12c	34.21b	66.33c	14.24a	19.43a	33.67a
	HNPK	39.67b	32.10b	71.77b	13.12a	15.11b	28.23b
孕穗期 Booting	CK	38.34b	41.71a	80.05a	9.26b	10.69b	19.95b
	NPK	37.63b	36.15b	73.78b	14.11a	12.11b	26.20a
	HNPK	40.35a	35.28b	75.63b	15.26a	9.11a	24.37a
开花期 Flowering	CK	39.56c	44.85a	84.41a	9.58b	6.01b	15.59b
	NPK	43.53b	32.52c	76.05b	14.58a	9.37a	23.95a
	HNPK	45.72a	40.06b	85.78a	9.25b	4.97b	14.22b
灌浆期 Filling	CK	37.63c	46.44a	84.07b	8.06b	7.87a	15.93b
	NPK	46.91b	34.46b	81.37b	10.77a	7.86a	18.63a
	HNPK	51.23a	36.88b	88.11a	7.27b	4.62b	11.89c
成熟期 Ripening	CK	38.64c	44.73a	83.37c	8.15a	8.48a	16.63a
	NPK	48.19b	40.90b	89.09b	8.34a	2.57b	10.91b
	HNPK	62.42a	33.41c	95.83a	3.25b	0.92c	4.17c

注:不同字母的数值在 0.05 水平上差异显著 ($P<0.05$),下同。
Note: different letter indicates statistically significant difference at 0.05 level, the same below.

表 3 腐植酸肥对 20~40 cm 土层土壤水稳定性团聚体的影响

Table 3 Effects of humic acid fertilizer on soil water-stable aggregates (20~40 cm)

生育期 Growth stage	处理 Treatments	大团聚体 Macro aggregates/%			微团聚体 Micro aggregates/%		
		>2 mm	2~0.25 mm	总和 Sum	0.25~0.053 mm	<0.053 mm	总和 Sum
拔节期 Shooting	CK	38.32a	35.53a	73.85a	13.95c	12.20a	26.15b
	NPK	36.89b	35.32a	72.21a	15.66b	12.13a	27.79b
	HNPK	39.43a	30.49b	69.92b	18.06a	12.02a	30.08a
孕穗期 Booting	CK	39.54a	35.07a	74.61a	15.02a	10.37b	25.39b
	NPK	37.44b	32.31b	69.75b	17.53a	12.72a	30.25a
	HNPK	39.45c	33.66a	73.11b	16.76a	13.13a	26.89a
开花期 Flowering	CK	40.46a	32.38b	72.84b	14.46a	12.70a	27.16a
	NPK	39.72b	33.54b	73.26b	16.71a	10.03b	26.74a
	HNPK	41.76a	36.63a	78.39a	11.54b	10.07b	21.61b
灌浆期 Filling	CK	34.53c	31.94b	66.47b	22.82b	10.71a	33.53a
	NPK	39.84b	35.20a	75.04b	13.76b	11.20a	24.96b
	HNPK	49.73a	32.29b	82.02a	10.22a	7.76b	17.98c
成熟期 Ripening	CK	32.76c	35.23b	67.99c	23.84a	8.17a	32.01a
	NPK	41.57b	39.83a	81.40b	11.28a	7.32a	18.60b
	HNPK	53.33a	32.41c	85.74a	9.62b	4.64b	14.26b

不同施肥处理对小麦不同生育时期 20 ~ 40 cm 土层土壤水稳定性团聚体百分含量影响变化趋势一致,土壤团聚体百分含量均以大团聚体 > 微团聚体,在拔节期到成熟期分布均为:大于 2 mm > 2 ~ 0.25 mm > 0.25 ~ 0.053 mm > 小于 0.053 mm。腐植酸肥处理微团聚体含量随着生育期呈现下降趋势,降幅分别为 11.86%、24.43%、20.19% 和 26.09%,大团聚体百分含量始终显著增加。因此腐植酸肥对大团聚体的形成有显著作用。

2.2 腐植酸肥对土壤酶活性的影响

脲酶是土壤广泛存在的酶,参与土壤氮循环重要的酶。在 0 ~ 20 cm 土层,随着小麦的生长发育,各个处理土壤脲酶活性变化趋势基本相同,20 ~ 40

cm 土层脲酶活性变化趋势也呈现先增加后下降再增加,各个处理的脲酶活性都比 0 ~ 20 cm 土层低。在 0 ~ 20 cm 土层,腐植酸肥处理的脲酶活性都显著高于 CK,灌浆期差异最大,脲酶活性提高 62.82%。与等养分复合肥相比,在拔节期、孕穗期和开花期腐植酸处理的脲酶活性显著低于等养分复合肥,进入灌浆期迅速增加,成熟期增至 1.32 mmol·g⁻¹·24h⁻¹,增幅为 23.3%。在 20 ~ 40 cm 土层,腐植酸肥处理的脲酶活性虽显著增加,但增加量较小,成熟期的脲酶活性腐植酸肥处理比 CK 提高 46.3%,比等养分复合肥提高 11.27%。总体来说在小麦生长发育前期腐植酸具有抑制土壤脲酶活性的作用,而在生长发育后期腐植酸具有提高土壤脲酶活性的作用。

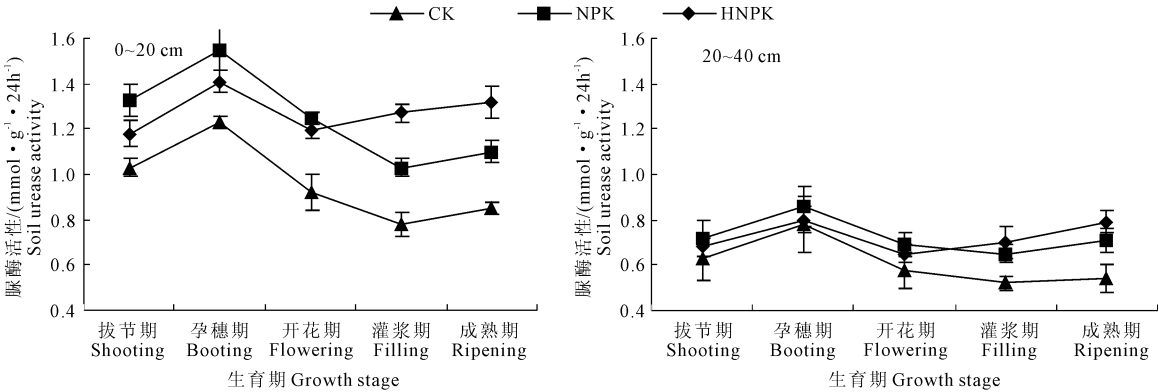


图 1 腐植酸肥料对土壤脲酶活性的影响

Fig.1 Effects of humic acid fertilizer on soil urease activity

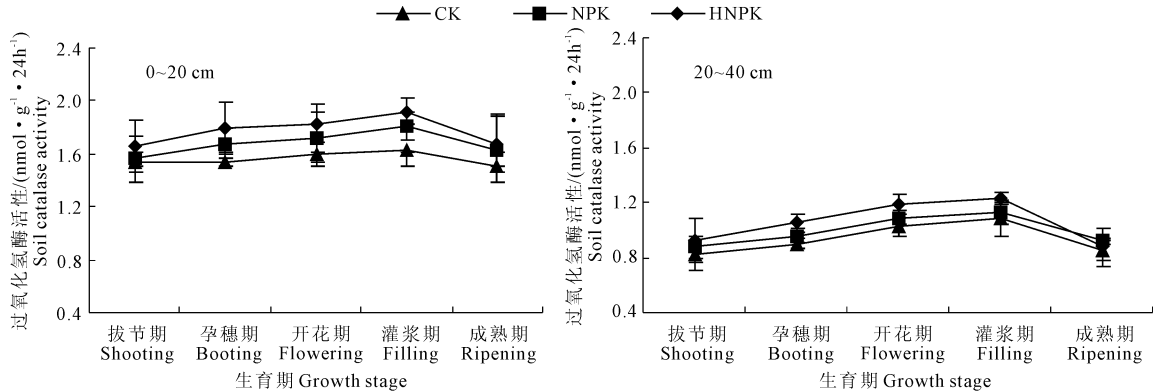


图 2 腐植酸肥料对土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig.2 Effects of humic acid fertilizer on soil catalase activity

土壤过氧化氢酶促进过氧化氢的分解,有利于防止过氧化氢对土壤和植物的毒害作用。由图 2 可知,0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层,过氧化氢酶活性均呈现先增加后下降的趋势。0 ~ 20 cm 土层随小麦的生育进程,过氧化氢酶的变化范围在 1.53 ~ 1.92 nmol·g⁻¹·24h⁻¹之间。在灌浆期,各处理酶活性以腐植酸肥处理最大,其次是等养分复合肥和 CK 处

理;成熟期,各个处理酶活性都有所下降。在 20 ~ 40 cm 土层,各个处理酶活性有相同的变化趋势,在成熟期腐植酸肥处理的酶活性低于等养分复合肥处理。总体从拔节期到灌浆期,各施肥处理过氧化氢酶活性较 CK 处理均有所增加,并且腐植酸肥处理始终高于等养分复合肥处理和 CK,说明施肥会增加土壤过氧化氢酶活性,但是差异不显著。

蔗糖酶能促进蔗糖分解成葡萄糖和果糖,是参与土壤碳循环重要的酶。它不仅能够表征土壤生物学活性强度,也是评价土壤熟化程度和土壤肥力水平的一个指标。从图 3 可看出,在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层,不同处理随着小麦生育期的推进,蔗糖酶活性变化趋势相似,20~40 cm 土层蔗糖酶活性低于 0~20 cm 土层。0~20 cm 土层,随着小麦生长发育,CK 是先下降后增加再下降,而腐植酸肥处理和等养分复合肥处理,呈现先增加后下降趋势。在拔节期和孕穗期,腐植酸肥处理低于 CK,但一直高于等养分复合肥处理,开花期达到了最大值 26.3 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$ 。20~40 cm 土层在小麦全生育期内,腐植酸肥与等养分复合肥处理蔗糖酶活性差异不大,但显著高于 CK 处理,开花期差异显著,为

75.53%。总体表现腐植酸肥处理酶活性高于等养分复合肥处理和 CK。

磷酸酶可以加速有机磷的脱磷速度,提高土壤磷的有效性,是评价土壤磷素转化方向的重要指标。从图 4 可知,在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层,碱性磷酸酶整体表现为随着春小麦生育期的推进持续上升,灌浆期之后下降。0~20 cm 土层,在灌浆期达到了最大值,腐植酸肥处理显著高于 CK,增加了 22%。20~40 cm 土层,各处理变化差异不明显,但总体都低于 0~20 cm 土层。不同施肥处理之间比较,土壤酸性磷酸酶活性均表现为:腐植酸肥处理 > 等养分复合肥处理 > CK。说明腐植酸肥处理可提高土壤碱性磷酸酶活性,活化土壤中的 P,促进了土壤中 P 的有效化。

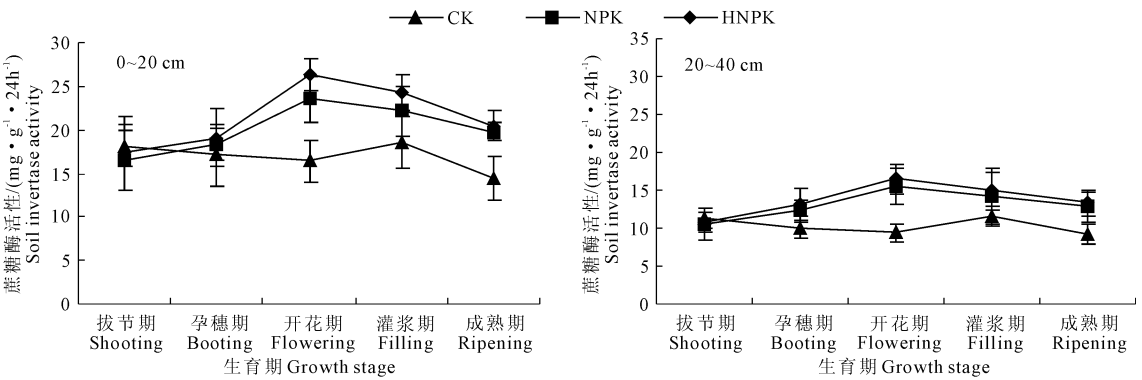


图 3 腐植酸肥料对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig.3 Effects of humic acid fertilizer on soil invertase activity

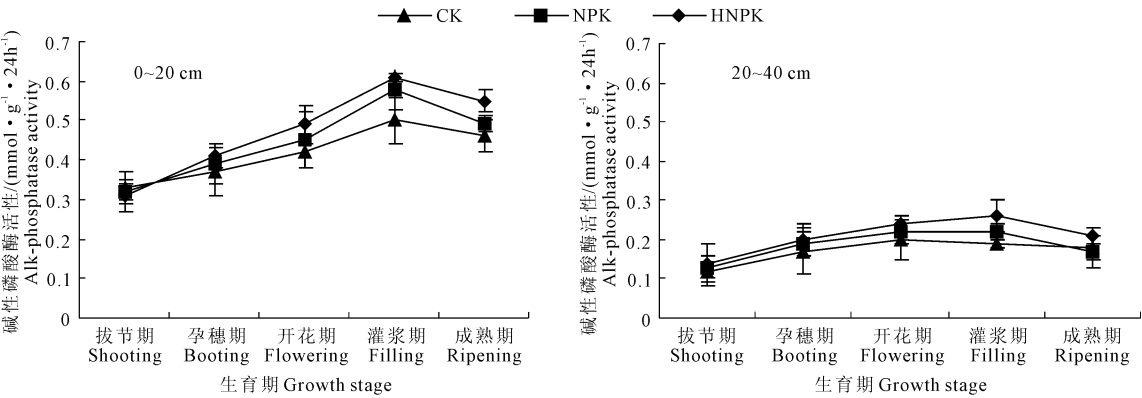


图 4 腐植酸肥料对碱性磷酸酶活性的影响

Fig.4 Effects of humic acid fertilizer on soil alk-phosphatase activity

2.3 各生育期腐植酸肥对土壤养分的影响

2.3.1 腐植酸肥对土壤碱解氮含量的影响 由图 5 可见,小麦各生育期,0~20 cm 土层土壤碱解氮含量为腐植酸肥处理和等养分处理均大于 CK 处理,20~40 cm 土层腐植酸肥料处理对土壤碱解氮含量影响较小。在 0~20 cm 土层,与不施肥处理相比,

腐植酸肥处理每个时期碱解氮含量都显著增加,最大差异出现在灌浆期,增幅为 48.13%。与等养分复合肥相比,拔节期和灌浆期均无差异,后 3 个时期差异显著,分别增加 11.49%、12.62% 和 14.09%。20~40 cm 土层,整体呈现先增加后下降的趋势,在孕穗期和成熟期,腐植酸和 CK 处理差异显著。

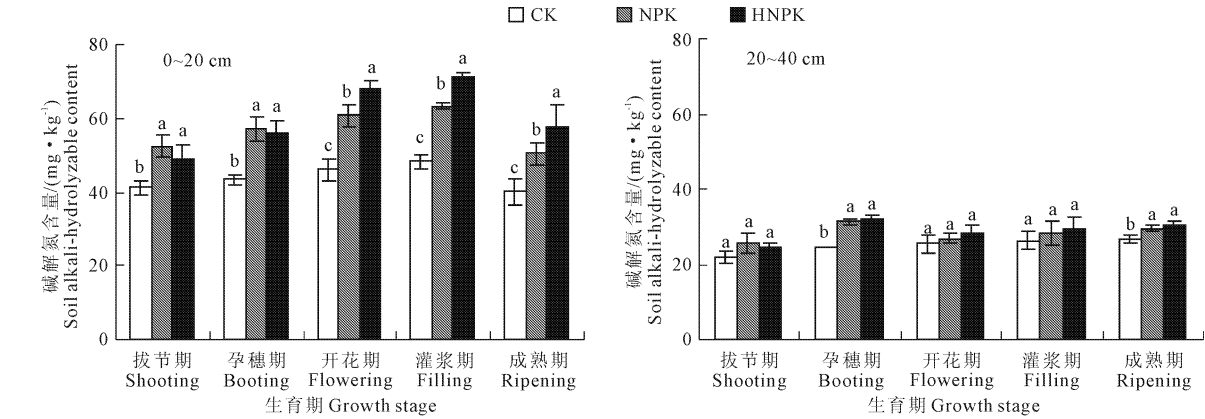


图 5 腐植酸肥料对土壤碱解氮含量的影响

Fig.5 Effects of humic acid fertilizer on soil alkali-hydrolyzable

2.3.2 腐植酸肥对土壤速效磷含量的影响 由图 6 可见,施肥增加了土壤磷含量,随着生育进程,0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤速效磷含量均呈现先增加,后下降趋势,并且腐植酸肥和等养分复合肥处理都高于 CK。0 ~ 20 cm 土层中,在灌浆期达到了最高值,腐植酸处理为 48.7 mg·kg⁻¹,等养分复合肥处理为 42.8 mg·kg⁻¹,CK 处理为 26.7 mg·kg⁻¹。20 ~ 40 cm 土层中,除拔节期,CK 和腐植酸肥处理都有显著差异。与等养复合肥处理相比,在孕穗期和成熟期差异显著,分别高出 22.22% 和 27.68%。总体来说,腐植酸对增加土壤速效磷含量有显著作用。

2.3.3 腐植酸肥对土壤速效钾含量的影响 从图

7 可知,在小麦不同的生长时期,不同施肥处理对土壤速效钾含量是有影响的。在 0 ~ 20 cm 土层中,从整个小麦生长时期来看,CK 的土壤速效钾含量呈下降趋势,腐植酸肥处理呈现增加趋势,后期增幅平缓,等养分复合肥处理呈现先增加后下降的趋势。腐植酸肥在灌浆期显著高于 CK 和等养分复合肥处理,差异最大,分别高出 44.45% 和 8.44%。20 ~ 40 cm 土层中,CK 处理最大值出现在孕穗期,等养分复合肥处理最大值出现在开花期,腐植酸肥处理最大值出现在成熟期。总体来说,施肥增加了土壤速效钾含量,腐植酸肥效果更为明显。

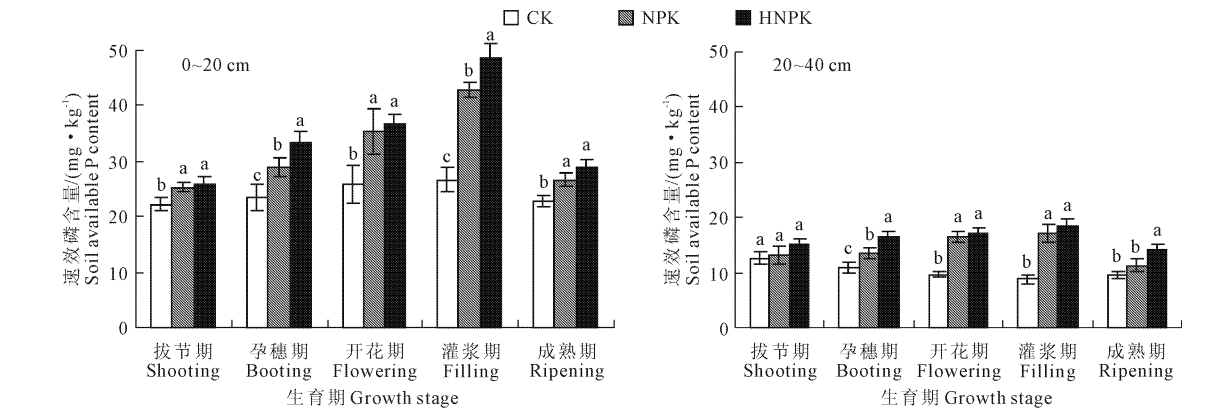


图 6 腐植酸肥料对土壤速效磷含量的影响

Fig.6 Effects of humic acid fertilizer on soil available P

3 讨 论

3.1 腐植酸肥料对小麦不同生育时期土壤团聚体组成的影响

土壤团聚体是土壤结构的基本单元,其各个粒级含量受施肥的影响。本研究表明,腐植酸肥料处理和等养分复合肥处理影响了团聚体粒径分布,使其向 2 ~ 0.25 mm 和 > 2 mm 粒径转移,增加了大团

聚体含量,成熟期时,腐植酸肥料处理 > 2 mm 粒级含量显著高于等养分复合肥处理。0 ~ 20 cm 土层和 20 ~ 40 cm 土层团聚体变化趋势基本一致。刘恩科等^[14]研究表明,长期施氮磷钾肥对 > 2 mm 和 0.25 ~ 2 mm 粒径水稳性大团聚体的促进作用最明显。陈晓芬等^[15]对红壤水稻土研究也表明有机肥的施用显著提高了水稳性大团聚体。腐植酸含有胶体结构,与土壤中的钙形成胶状物质,使土壤粘粒结

合起来,从而改善土壤团粒结构^[16]。并且腐植酸中含有富里酸和胡敏酸等含碳量较高的物质,施入土壤能增加有机碳含量,土壤有机碳含量增加,促进了

土壤胶结作用,加强土壤的团聚作用,使大团聚体含量增加。

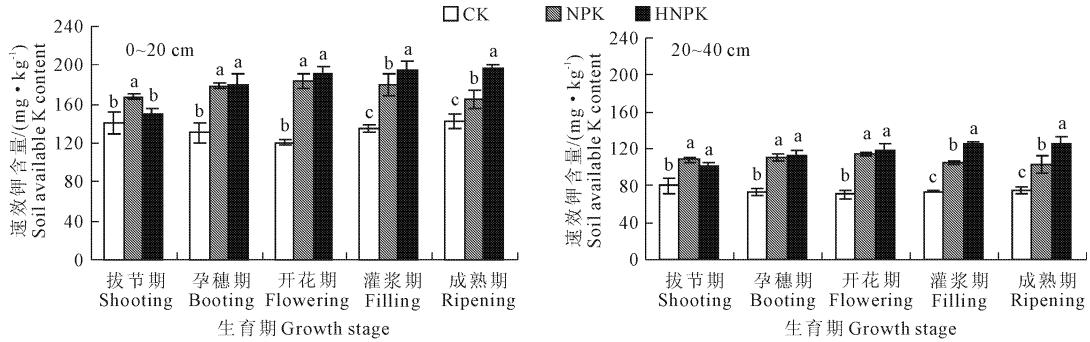


图 7 腐植酸肥料对土壤速效钾含量的影响

Fig.7 Effects of humic acid fertilizer on soil available K

3.2 腐植酸肥料对小麦不同生育时期土壤酶的影响

土壤酶是一种生物活性物质,其活性可作为衡量土壤肥力水平的指标,施肥是影响土壤酶活性的重要因素。本研究结果表明,脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶均表现为腐植酸肥 > 等养分复合肥 > CK,这与前人的研究一致^[17-18]。腐植酸肥处理前期脲酶活性较等养分复合肥处理低,灌浆期以后显著高于 CK 和等养分复合肥处理。主要因为腐植酸前期施肥多抑制脲酶活性,后期施肥少增加了脲酶活性。另一个原因是前期腐植酸施入多,腐植酸和脲素可生成腐-脲络合物,其在土壤中的稳定性远高于脲素^[19]。与 CK 相比,腐植酸肥处理过氧化氢酶活性显著提高,这与任祖淦等^[20]的试验结果一致。而孙瑞莲等^[21]研究表明,施肥降低土壤过氧化氢酶活性,可能与土壤类型、环境、施肥种类等有关。腐植酸肥处理增加了蔗糖酶含量,但是与等养分复合肥处理差异不显著,其原因还需要进一步研究。腐植酸肥处理的碱性磷酸酶均大于 CK 和等养分复合肥处理,因为腐植酸复合肥在一定程度上降低土壤 pH 值^[18],可促进碱性磷酸酶活性。随着土层加深,微生物活性和土壤养分减少,其土壤酶活性均有所降低。

3.3 腐植酸肥料对小麦不同生育时期土壤养分的影响

腐植酸在土壤中具有吸附、代换作用,能使保氮、解磷、促钾及微量元素的有效性等功效大大提高^[22-23]。施用腐植酸肥处理前期碱解氮低于等养分复混肥的处理,后期腐植酸肥处理显著高于等养分处理。可能是腐植酸存在对氮素起到缓冲的作用的物质,后期腐植酸减少,碱解氮增加。腐植酸的加

入使土壤速效钾和速效磷含量得到了提高,所以腐植酸能增加土壤中钾和磷的含量。

4 结 论

施用棉粕型腐植酸肥能促进土壤大团聚体含量增加,提高土壤酶活性和土壤养分含量,对改善土壤环境具有重要意义。施用棉粕型腐植酸肥使 0~20 cm 土层的大团聚体含量、土壤酶活性和土壤养分含量都高于 20~40 cm 土层,且土壤 2~0.25 mm 和 > 2 mm 粒级团聚体增加,土壤中速效养分显著增加;各生育时期土壤过氧化氢酶和碱性磷酸酶活性能力均有所提高,小麦生长后期脲酶活性提高,但对蔗糖酶活性影响不显著。

参 考 文 献:

- [1] 李 娟,赵秉强,李秀英,等.长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2008,41(1): 144-152.
- [2] 姜灿烂,何园球,刘晓利,等.长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响[J].土壤学报,2010,47(4):715-722.
- [3] 史 奕,陈 欣,沈善敏.有机胶结形成土壤团聚体的机理及理论模型[J].应用生态学报,2002,13(11):1495-1498.
- [4] 史 奕,陈 欣,沈善敏.土壤团聚体的稳定机制及人类活动的影响[J].应用生态学报,2002,13(11):1491-1494.
- [5] 霍 琳,武天云,蔺海明,等.长期施肥对黄土高原旱地黑垆土水稳性团聚体的影响[J].应用生态学报,2008,19(3):545-550.
- [6] 陆 欣.土壤肥科学[M].北京:中国农业大学出版社,2002.
- [7] 邱现奎,董元杰,万勇善,等.不同施肥处理对土壤养分含量及土壤酶活性的影响[J].土壤,2010,42(2):249-255.
- [8] 刘建新.不同农田土壤酶活性与土壤养分相关关系研究[J].土壤通报,2004,35(4):523-525.
- [9] 程 亮,张保林,王 杰,等.腐植酸肥料的研究进展[J].中国土壤与肥料,2011,(5):1-6.

(下转第 94 页)

关系,其中 Shannon – Wiener 多样性指数和土壤有效水饱和度的相关性最高。

参 考 文 献:

[1] Martínez-Fernández J, Ceballos A. Temporal stability of soil moisture in a large-field experiment in Spain[J]. Soil Science Society of America, 2003,67:1647-1656.

[2] 张洛丹.不同植被类型对陡坡地土壤水分循环的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.

[3] Moreno-De Las Heras M, Espigares T, Merino-Martín L, et al. Water-related ecological impacts of rill erosion processes in Mediterranean-dry reclaimed slopes[J]. Catena, 2011,84(3):114-124.

[4] 朱清科,张 岩,赵磊磊,等.陕北黄土高原植被恢复及近自然造林[M].北京:科学出版社,2012:31-33.

[5] Verdaguer D, Vilagran J, Lloansi S, et al. Morphological and physiological acclimation of Quercuscoccifera L. seedlings to water availability and growing medium[J]. New Forests, 2011,42(3):363-381.

[6] Tramontini S, Leeuwen C V, Domec J C, et al. Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grape-berry development[J]. Plant & Soil, 2013,368(1):215-230.

[7] 张治伟,朱章雄,文志林.岩溶山地不同用地类型表层土壤持水性能研究[J].灌溉排水学报,2015,34(4):95-99.

[8] 高晓东,吴普特,张宝庆,等.黄土丘陵区小流域土壤有效水空间变异及其季节性特征[J].土壤学报,2015,52(1):57-67.

[9] 吕文强,王 立,党宏忠,等.黄土高原坡面带状植被土壤水分有效性的空间分异特征[J].水土保持学报,2015,29(6):233-240.

[10] 蔡 燕,王会肖.太行山山前平原土壤有效水动态分析[J].中国农业气象,2009,30(3):313-317,322.

[11] 潘春翔,李裕元,彭 亿,等.湖南乌交界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能[J].生态学报,2012,32(2):538-547.

[12] 代海燕,张秋良,魏 强,等.大青山不同植被土壤物理特征及有效水的研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(12):149-153.

[13] 邝高明,朱清科,赵磊磊,等.黄土丘陵沟壑区陡坡微地形分布研究[J].干旱区研究,2012,29(6):1083-1088.

[14] 赵 荟,朱清科,秦 伟,等.黄土高原干旱阳坡微地形土壤水分特征研究[J].水土保持通报,2010,30(3):64-68.

[15] 王 晶,朱清科,赵 荟,等.陕北黄土区阳坡微地形土壤水分特征研究[J].水土保持通报,2011,31(4):16-21.

[16] 张宏芝,朱清科,赵磊磊,等.陕北黄土坡面微地形土壤化学性质[J].中国水土保持科学,2011,9(5):20-25.

[17] 张宏芝,朱清科,王 晶,等.陕北黄土坡面微地形土壤物理性质研究[J].水土保持通报,2011,31(6):55-58.

[18] 卜耀军,朱清科,包耀贤,等.陕北黄土区微地形土壤质量指标变异性及敏感性[J].水土保持学报,2014,28(3):153-157.

[19] 王 晶,朱清科,秦 伟,等.陕北黄土区封禁流域坡面微地形植被特征分异[J].应用生态学报,2012,23(3):694-700.

[20] 邝高明,朱清科,刘中奇,等.黄土丘陵沟壑区微地形对土壤水分及生物量的影响[J].水土保持研究,2012,19(3):74-77.

[21] 王 锐,刘文兆,李 志.黄土塬区 10 m 深剖面土壤物理性质研究[J].土壤学报,2008,45(3):550-554.

[22] Mann H B. Non-parametric tests against trend[J]. Econometrica, 1945,13:245-259.

[23] Kendall M G. Rank Correlation Measures[M]. London: Charles Griffin and Co., Ltd., 1975.

[24] Sen A K, Ogrin D. Analysis of monthly, winter, and annual temperatures in Zagreb, Croatia, from 1864 to 2010; the 7.7 – year cycle and the North Atlantic Oscillation[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2016,123:733-739.

[25] Cochran F, Brunsell N, Cabalzar A, et al. Indigenous ecological calendars define scales for climate change and sustainability assessments [J]. Sustainability Science, 2016,11:69-89.

[26] Huang H P, Han Y P, Cao M M, et al. Spatial-temporal variation of aridity index of China during 1960—2013[J]. Advances in Meteorology, 2016:1536135.

[27] 高晓东,吴普特,赵西宁,等.黄土丘陵区沟道小流域土壤有效储水量估算[J].水利学报,2013,44(6):734-742.

[28] 赵维军,马 欢,朱清科,等.陕北黄土区微地形土壤水分对降水特征的响应[J].农业机械学报,2014,45(5):118-124.

[29] 王洪英,杨文文,张学培.晋西黄土区坡面林地土壤持水性能研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):147-151.

(上接第 60 页)

[10] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1986,50(3):627-633.

[11] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.

[12] 赵兰坡,姜 岩.土壤磷酸酶活性测定方法探讨[J].土壤通报,1986,17(3):138-141.

[13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第 3 版.北京:中国农业出版社,2000.

[14] 刘恩科,赵秉强,梅旭荣,等.不同施肥处理对土壤水稳定性团聚体及有机碳分布的影响[J].生态学报,2010,30(4):1035-1041.

[15] 陈晓芬,李忠佩,刘 明,等.不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳、氮分布和微生物生物量的影响[J].中国农业科学,2013,46(5):950-960.

[16] 薛世川,孙志梅,彭正萍,等.腐植酸复合肥的养分释放规律与控释机理研究[J].腐植酸,2001,(3 – 4):30-32.

[17] 彭正萍,门明新,薛世川,等.腐植酸复合肥对土壤养分转化和土壤酶活性的影响[J].河北农业大学学报,2005,28(4):1-4.

[18] 刘兰兰,史春余,梁太波,等.腐植酸肥料对生姜土壤微生物量和酶活性的影响[J].生态学报,2009,29(11):6136-6141.

[19] 李善祥,孙淑和,吴奇虎,等.腐植酸酸性功能团的研究[J].燃料化学学报,1983,11(3):32-40.

[20] 任祖淦,陈玉水,唐福钦,等.有机无机肥料配施对土壤微生物和酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,1996,2(3):279-283.

[21] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等.长期定位施肥田土壤酶活性的动态变化特征[J].生态环境,2008,17(5):2059-2063.

[22] 社会英,薛世川,孙忠富,等.腐植酸复混肥对葡萄养分吸收利用的影响[J].土壤通报,2006,37(3):546-549.

[23] 武丽萍,成绍鑫,李 丽.腐植酸与速效磷肥的作用及 HA – P 的农化效应[J].腐植酸,2002,(1):32-35.