

# 滴灌条件下穴施生物有机肥对土壤酶活性时空动态分布的影响

常文颖,何倩,李俊华

(新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室/石河子大学农学院,新疆 石河子 832000)

**摘要:**在滴灌条件下,将穴施和均施两种生物有机肥施肥方式,水肥一致和不一致两种滴水位置两两组合,共4个处理:穴施水肥一致(B0)、穴施水肥不一致(B30)、均匀施肥(BU)和对照(CK)。分别在施肥后的3、7、15、30、60 d,选取距肥料0、5、15、30 cm的水平位置和0~20、20~40、40~60 cm的垂直位置土钻取样,测定土样的脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性。结果表明:各土层脲酶活性分别在处理后15 d达到最大值17.52、12.59 mg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>和5.74 mg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>,蔗糖酶活性峰值出现在处理后3 d和15 d,而各土层碱性磷酸酶活性变化规律不一致。随着土层深度加深,生物有机肥对3种土壤酶活性的影响逐渐减小,水平方向上,B0和BU处理脲酶、蔗糖酶及碱性磷酸酶活性由肥际(H0)位置向四周分别降低了42.12%、29.73%、25.76%,B30处理3种酶活性前期以滴头(H30)为中心向四周降低幅度分别为5.87%、11.30%、3.51%,随着处理时间延长,土壤酶活性变化趋势与B0、BU一致。穴施生物有机肥显著提高了0~40 cm土层土壤脲酶和蔗糖酶活性49.40%、39.51%,同时更有利于施肥后期碱性磷酸酶活性的提高,40~60 cm土层不同水平位置酶活性差异不显著。

**关键词:**生物有机肥;土壤酶活性;滴灌;施肥方式;滴水位置

**中图分类号:**S154.2;S147.35   **文献标志码:**A

## Effect of localized application of bio-organic fertilizer on the temporal and spatial distribution of soil enzyme activities under drip irrigation

CHANG Wen-ying, HE Qian, LI Jun-hua

(1. The Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture, Xinjiang Production and Construction Group/College of Agronomy of Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

**Abstract:** The experiment combined two different fertilization methods with two different dripper positions under drip irrigation. The 4 treatments were: B0, B30, BU, and CK. Soil samples were selected from the horizontal positions 0, 5, 15 cm and 30 cm from fertilization points at vertical depth of 0~20, 20~40 cm, and 40~60 cm on the 3, 7, 15, 30 d and 60 d after fertilization. The activity of urease, sucrase, and alkaline phosphatase of the samples were measured. The results showed that the urease activity in each layer reached the maximum of 17.52, 12.59, 5.74 mg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, respectively at the 15 d after treatment, and maximum sucrase activity appeared at the 3 d and 15 d after treatment, while the changes of alkaline phosphatase activity in each soil layer were inconsistent. The effect of bio-organic fertilizer on activities of the three soil enzymes decreased gradually with the increase in soil depth. The three soil enzyme activities decreased gradually with the increasing in soil depth. In horizontal direction, three enzyme activities of B0 and BU treatments decreased 42.12%, 29.73% and 25.76% from H0 to H30, the enzyme activities of B30 decreased by 5.87%, 11.30% and 3.51% from the dripper (H30) to periphery (H0), respectively, as time elapsed, the trend of soil enzyme activities changed with B0 and BU. Concentration of bio-organic fertilizer significantly increased urease by 49.40% and sucrase activities by 39.51% in 0~40 cm of soil layer, and was more conducive to the improvement of alkaline phosphatase activity in the later stage of fertilization. The

difference of the three enzyme activities at different horizontal positions in the 40~60 cm of soil layer was not significant.

**Keywords:** bio-organic fertilizer; soil enzyme activities; drip irrigation; fertilization method; drip location

我国是化肥施用大国,化肥的超标施入对生态环境系统造成了负面影响,并威胁到我国农业的可持续发展<sup>[1]</sup>。而有机肥能在微生物作用下,分解释放矿质养分,改善低肥力土壤养分状况,且能够直接为土壤微生物提供有机能源<sup>[2]</sup>,进而影响土壤酶活性<sup>[3-4]</sup>。生物有机肥除了一般有机肥的功能外,还有助于农作物对养分物质的吸收,活化土壤中的难溶营养物质供植物吸收利用<sup>[5]</sup>。

传统有机肥施用投入成本过高,集中施入(条施、穴施等)是节约成本提高肥效较为有效的方法。集中施入有机肥时,在肥料和肥粒附近(微域)形成特殊微环境,使得这一微域土壤的理化性质和生物性质改变,对土壤生产力和植物营养产生较大影响<sup>[6]</sup>。滴灌作为应对新疆干旱缺水的重要节水方式<sup>[7]</sup>,在滴灌条件下水分自滴头向四周扩散,会使土壤脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性受其影响随之向四周逐渐减小<sup>[8]</sup>。在滴灌条件下穴施生物有机肥,研究二者之间相互作用对微域土壤酶活性时空动态分布能否产生影响,对探究新疆有机肥合理施用方式具有重要意义。

本研究以新疆本地农田土壤为材料,以不同滴水位置分别与穴施和均匀施入生物有机肥方式相结合,探究0~60 cm土层及水平位置土壤脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性时空动态分布特征,进一步阐明滴灌条件下,穴施生物有机肥对土壤酶活性的影响强度、作用深度和广度,为新疆农田合理、高效施用生物有机肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于2015年4月19日~6月19日在石河子大学试验站进行。供试土壤为灌耕灰漠土(灌淤旱耕人为土,Calcaric Fluvisals),施肥前土壤基础养分见表1。生物有机肥为江苏新天地生物科技有限公司

生产的“BIO”生物有机肥,基础养分为:有机质44.2%,N 4.4%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.3%,K<sub>2</sub>O 0.7%,pH值8.54,功能微生物枯草芽孢杆菌达到10<sup>8</sup> cfu·g<sup>-1</sup>,其中氨基酸态氮占总氮的60%以上。

试验为随机区组设计,小区面积3.1 m×3 m,重复3次。在每个样点上方放一个水壶,水壶出水口链接医用输液管,调节流速,精确控制灌溉量,样点间距60 cm。设置4个处理:穴施生物有机肥且水肥一致处理(B0)为滴头与肥料在同一位置,穴施生物有机肥且水肥不一致处理(B30)为肥料施入距离滴头30 cm位置,均匀施入生物有机肥处理(BU)为肥料均匀施入滴头30 cm范围内的土壤中和不施肥处理(CK),每个处理3个重复,施肥与灌溉位置如图1所示。每穴施肥177 g(干物质量为150 g),将肥料装入直径5 cm,高10 cm的圆柱内(400目的尼龙网制成),埋入样点正下方土表5 cm以下。土壤水分保持在田间持水量的70%~90%。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 取样 分别在施肥后的3、7、15、30、60 d,选取距肥料0、5、15、30 cm的水平位置和0~20、20~40、40~60 cm的垂直位置土钻取样(见图1)。肥际土壤是指0~20 cm土层,取距离肥料袋边缘2 mm处的土壤。BU和CK没有肥际土壤,取0~20 cm土层滴头正下方的土壤作为肥际土壤的对照。采回的土壤自然风干,过2 mm筛测定酶活性。

1.2.2 测定方法 土壤养分采用鲍士旦<sup>[9]</sup>的方法测定。有机质采用重铬酸钾容量法,碱解氮采用碱解扩散法,速效磷采用0.5 mol·L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub>法,速效钾采用NH<sub>4</sub>OAc浸提-火焰光度法。

pH值采用pH计测定,土壤电导率(EC)采用电导率仪测定。

土壤酶活性测定采用关松荫<sup>[10]</sup>的方法。脲酶采用苯酚钠-次氯酸比色法,蔗糖酶采用3,5-二硝基水杨酸比色法,磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法。

表1 不同深度土层基础养分分析  
Table 1 Soil fertility in different soil depths

土层深度/cm Soil depth	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> ) Organic matter	pH	土壤电导率/(ms·cm <sup>-1</sup> ) EC	碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Available N	速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Available P	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Available K
0~20	15.95	8.46	0.99	85.4	25.41	180.38
20~40	14.07	8.26	0.85	82.6	17.37	141.2
40~60	11.17	8.36	0.72	68.6	15.19	116.96

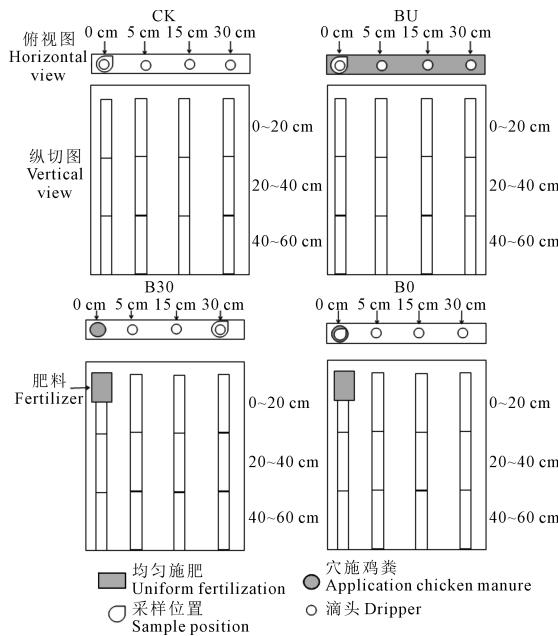


图1 采样示意图

Fig.1 Schematic diagram of sampling

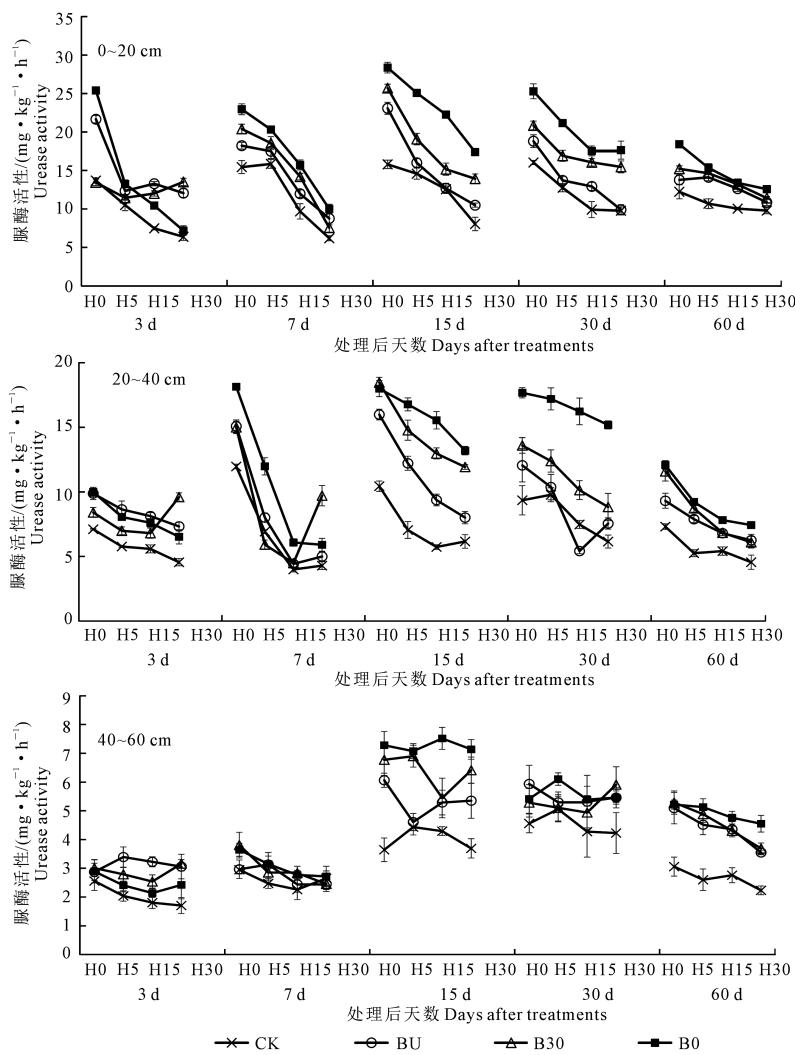
### 1.3 数据分析

运用 Microsoft Excel 2010 处理数据。用 SPSS 19.0 系统软件分析数据,用 LSD 法 (least significant difference test) 进行样本平均数在 0.05 水平的差异显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物有机肥和水肥位置对土壤脲酶活性时空动态分布特征的影响

由图 2 可知, BU、B30 和 B0 处理均可以提高 0~60 cm 土层脲酶活性,且脲酶活性随时间变化先升高后降低,在处理后 15 d 达到最大值。20~40 cm 土层,B0 处理 H0(肥际)位置脲酶活性高于 B30 处理 25.60% ( $P < 0.05$  显著,下同);40~60 cm 土层,各水平位置之间酶活性大多无显著差异。随着处理时间延长及土层深度增加,各处理不同水平位置间脲酶活性的差异逐渐减小。



注:误差线代表  $LSD_{0.05}$ , H0、H5、H15 和 H30 分别表示距肥料水平距离为 0、5、15 cm 和 30 cm。下同。

Note: Error bars show the  $LSD_{0.05}$ , H0, H5, H15 and H30 denote horizontal distances of 0, 5, 15 cm and 30 cm. The same below.

图2 不同处理对各土层脲酶活性空间分布的影响

Fig.2 The effect of different treatments on spatial distribution of urease activities in different soil layers

0~20 cm 土层,各水平位置脲酶活性大多为:H0>H5>H15>H30,但水肥不一致处理(B30),试验初期 H5、H15 位置脲酶活性最低,随着处理时间延长,肥料中养分不断溶解扩散,后期其水平位置脲酶活性变化趋势与其他处理一致。不同水平位置,各处理间脲酶活性的变化规律存在差异,这种差异随时间变化而改变:处理后 3 d,水平位置 0 cm 处脲酶活性为 B0>BU>B30,非肥际位置各处理间脲酶活性差异不显著;处理后 7~60 d,水平位置 0~15 cm 处脲酶活性为 B0>B30>BU。

20~40 cm 土层,随着时间变化,各处理不同水平位置间脲酶活性发生了变化:BU 及 B0 处理脲酶活性均为 H0>H5>H15>H30;而 B30 处理后 3 d 脲

酶活性为 H30>H0>H5>H15,处理后 7 d 变为 H0>H30>H5>H15,处理后 15~60 d 则与其他处理规律一致。处理后 3 d 和 7 d,水平位置 0、5 cm 处脲酶活性为 B0>BU>B30,但在水平位置 30 cm 处,B30 处理脲酶活性显著高于其他处理;处理后 15~60 d,各水平位置脲酶活性为 B0>B30>BU。

40~60 cm 土层,处理后 60 d,各处理脲酶活性规律为:H0>H5>H15>H30,其余时期不同水平位置间脲酶活性无显著差异。

## 2.2 生物有机肥和水肥位置对土壤蔗糖酶活性时空动态分布特征的影响

由图 3 可知,施入生物有机肥显著提高了各土层蔗糖酶活性。0~60 cm 土层蔗糖酶活性随时间变

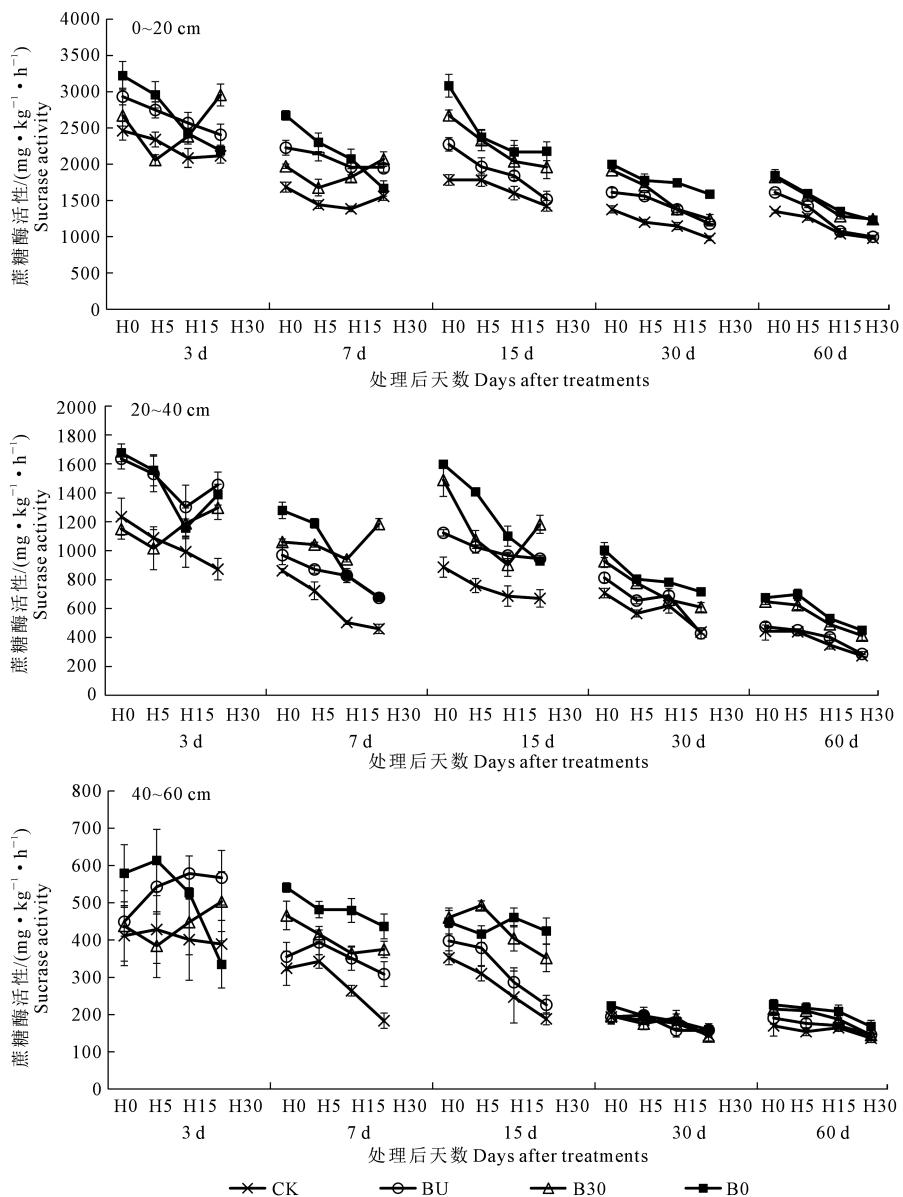


图 3 不同处理对各土层蔗糖酶活性空间分布的影响

Fig.3 The effect of different treatments on spatial distribution of sucrase activities in different soil layers

化呈降-升-降的趋势,最大均值 $1\ 837.24\ mg\cdot kg^{-1}\cdot h^{-1}$ 和 $1\ 724.08\ mg\cdot kg^{-1}\cdot h^{-1}$ 分别出现在处理后3 d和15 d。随时间延长和土层深度增加,不同处理及不同水平位置间蔗糖酶活性差异逐渐减小。

0~20 cm 土层,CK、BU 及 B0 处理水平位置蔗糖酶活性规律表现为:H0>H5>H15>H30,但 B30 处理 3 d 和 7 d 的规律为:H30>H0>H15>H5。不同处理间的酶活性差异表现为:处理后 3 d 和 7 d,水平位置 0.5 cm 蔗糖酶活性为 B0>BU>B30,水平位置 15 cm 处各处理间蔗糖酶活性无显著差异,30 cm 处 B30 处理酶活性显著高于其他处理;处理后 15~60 d,各水平位置蔗糖酶活性为 B0>B30>BU。

20~40 cm 土层,水肥位置影响水平方向酶活性变化规律并随时间发生改变:处理后 3 d 和 7 d,B30 处理的水平位置 30 cm 处蔗糖酶活性最高, BU 和

B0 在水平 0 cm 位置蔗糖酶活性最高;处理后 15~60 d,各处理均为水平 0 cm 位置蔗糖酶活性最高。比较各处理间酶活性可知:处理后 3 d,各处理间酶活性规律与 0~20 cm 土层一致;处理后 7~60 d,水平位置 0.5 cm 蔗糖酶活性为 B0>B30>BU。

40~60 cm 土层,随时间增加各处理蔗糖酶活性逐渐降低,同一处理不同水平位置间酶活性差异逐渐减小。

### 2.3 生物有机肥和水肥位置对碱性磷酸酶活性时空动态分布特征的影响

由图 4 可知,随土层深度增加,各处理土壤碱性磷酸酶活性平均降低了 64.46%。各土层酶活性峰值分别为 $65.72$ 、 $44.33$ 、 $30.26\ mg\cdot kg^{-1}\cdot h^{-1}$ ,分别出现在 15、7 d 及 60 d。

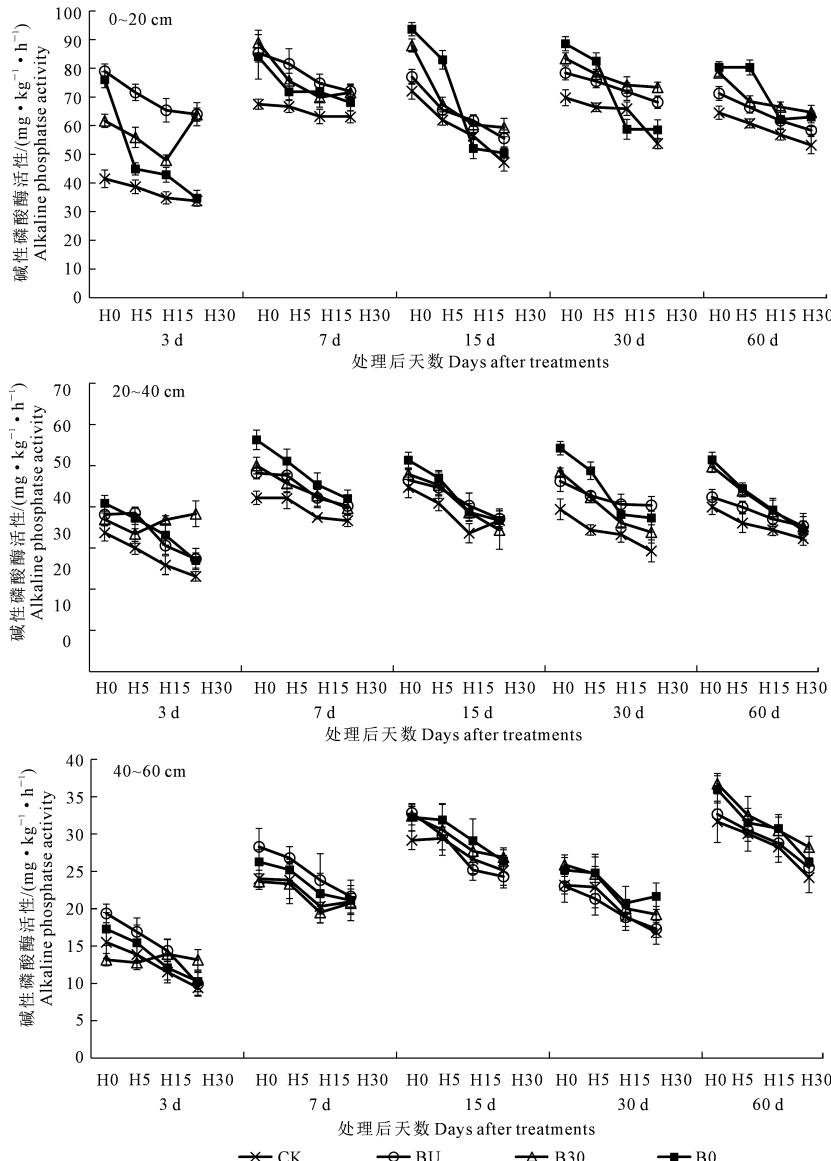


图 4 不同处理对各土层碱性磷酸酶活性空间分布的影响

Fig.4 The effect of different treatments on spatial distribution of alkaline phosphatase activities in different soil layers

0~20 cm 土层,处理后 3 d, BU 和 B0 处理均为肥际磷酸酶活性最高,但 B30 处理磷酸酶活性为 H30>H0>H5>H15;处理后 7~60 d,各处理酶活性均为:H0>H5>H15>H30。处理后 3 d 和 7 d,水平位置 0~15 cm 处 BU 处理碱性磷酸酶活性高于 B0 和 B30;处理后 15~60 d,水平位置 0~5 cm 碱性磷酸酶活性为:B0>B30>BU。

20~40 cm 土层,各处理水平位置间酶活性变化规律与 0~20 cm 土层一致。对比同一水平位置,各处理间磷酸酶活性差异:施肥后 3~60 d, H0、H5 位置 B0 处理磷酸酶活性最高,但只有施肥后 7 d 和 30 d 差异显著。

40~60 cm, BU 和 B0 处理水平位置磷酸酶活性为:H0>H5>H15>H30, B30 处理前期(3 d 和 7 d)不符合此规律,后期(15~30 d)逐渐与此规律一致。不同施肥处理间酶活性为:施肥后 3 d 和 7 d,水平 0~5 cm 处 BU 处理磷酸酶活性最高;施肥后 15 d 和 30 d, H0、H5 位置各处理间磷酸酶活性差异不显著;而施肥后 60 d, H0 位置 B0、B30 处理磷酸酶活性显著高于 BU,水平 5~30 cm 位置,各施肥处理间酶活性差异不显著。

### 3 讨论与结论

土壤酶参与土壤许多重要的生物化学过程和物质循环,与微生物一起推动着土壤的代谢过程。有机肥会对土壤酶活性产生影响,长期施用可以大幅度提高脲酶活性<sup>[11~13]</sup>,生物有机肥会使土壤脲酶、蔗糖酶活性显著增加<sup>[14]</sup>。有研究表明,施入化肥和有机肥可提高耕层(0~20 cm)脲酶、蔗糖酶活性,而在 20~80 cm 土层,施肥对脲酶活性的影响逐渐降低<sup>[15]</sup>。本试验中不同施肥方式下,0~60 cm 土层脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性增加,增加幅度随土层深度增加而逐渐减小,其中 0~20 cm 土层酶活性最高。0~20 cm 土层,生物有机肥对土壤碱性磷酸酶活性增加影响最大的处理由前期的 BU 转变为后期的 B0,同时脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性均随土层深度增加而逐渐降低。对比不同施肥方式对土壤酶活性的影响,发现集中施入生物有机肥较均匀施肥明显提高了 0~40 cm 土层土壤脲酶和蔗糖酶活性,而均匀施肥处理的肥料易于溶解扩散,前期更有利提高 0~20 cm 土层碱性磷酸酶的活性。

酶活性随培养时间的延长呈周期性变化规律,不同的土壤酶其活性代谢规律不同。施用羊粪、秸秆后随着小麦生长,土壤脲酶活性呈先增加后降低

的趋势<sup>[16]</sup>;施用不同有机肥后,随着烤烟生长,蔗糖酶活性均表现为先上升后下降的趋势<sup>[17]</sup>;在室内模拟试验中发现,碱性磷酸酶活性也随时间变化呈先升后降<sup>[18]</sup>。本试验表明脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性随时间的整体变化趋势不一致,与上述结果存在一定差异。脲酶活性在施肥 15 d 达到最大值后开始降低,而在不同深度土层碱性磷酸酶活性峰值出现的时间均不相同。我们发现施肥后 3 d 的蔗糖酶活性高于 7 d,这可能是由于土壤由冬天的低温、缺水、缺乏营养物质的条件转变为开春温度适宜,湿润,有养分供给的状态后,土壤理化性质和生物性质快速优化,同时春季气温升高酶促反应显著增加,之后酶促基质降低,脲酶活性开始下降<sup>[19]</sup>。处理后 60 d,土壤酶活性降至最低,这可能是随酶促反应时间增加,底物浓度降低导致。

不同滴水位置下,穴施鸡粪均能提高土壤脲酶、蔗糖酶及碱性磷酸酶活性,且以滴头为中心向四周减小,水肥一致更有利于提高土壤酶活性<sup>[20]</sup>。施用生物有机肥显著增加了各土层土壤酶活性,不同处理下土壤脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性水平方向上的变化规律大体一致:B0 和 BU 处理的酶活性在整个处理周期中均呈:0 cm>5 cm>15 cm>30 cm;而 B30(水肥不一致)处理与其他处理不同,前期酶活性以滴头为中心向四周逐渐降低,随时间延长,则以肥料为中心向四周降低。随着处理时间延长,各处理不同水平位置间酶活性差异减小。

综上所述,集中施入生物有机肥较均匀施入有机肥明显提高了 0~40 cm 土层土壤脲酶和蔗糖酶活性 49.40% 和 39.51%,且更有利于提高施肥后期 0~20 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性,生物有机肥对 40~60 cm 土层 3 种酶活性的影响均不显著。不同施肥方式下,随着时间变化,脲酶和蔗糖酶活性大体呈先升后降的变化趋势,而各土层碱性磷酸酶活性变化规律并不一致。随着土层深度加深 3 种土壤酶活性分别降低了 72.12%、83.10%、64.46%,且生物有机肥对酶活性的影响幅度也同时降低。水平方向上,B0 和 BU 处理脲酶、蔗糖酶及碱性磷酸酶活性以肥料(H0)为中心向四周分别降低了 42.12%、29.73%、25.76%,而 B30 处理由于滴头和肥料不在同一位置,处理前期 3 种酶活性以滴头(H30)为中心向四周分别降低了 5.87%、11.30%、3.51%,随着处理时间延长,水分将肥料中的养分慢慢溶解,土壤酶活性转为以肥料为中心向四周降低。