

不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤酶活性及氮磷养分含量的动态变化

刘宏胜¹, 徐振峰², 闫志利³, 牛俊义², 高玉红², 李 洋²

(1. 甘肃省会宁县农牧局, 甘肃 会宁 730799; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070;

3. 河北科技师范学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘 要: 为进一步完善全膜双垄沟播玉米栽培技术体系, 采用大田随机区组试验法, 研究了不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤酶活性及氮磷养分含量的动态变化情况。结果表明: 在玉米生长前期, 土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性以及碱解氮、速效磷含量均呈现快速增长趋势。脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性和碱解氮含量均在拔节期达到最大值, 碱性磷酸酶活性和速效磷含量在抽雄期达到最大值。在玉米生长后期, 各种土壤酶活性和氮磷养分含量又呈降低趋势。土壤脲酶活性与氮磷养分含量, 土壤碱性磷酸酶活性与速效磷含量均存在显著或极显著正相关关系, 土壤蔗糖酶活性与氮磷养分含量也存在显著的正相关关系, 而土壤过氧化氢酶活性与氮磷养分含量之间, 土壤碱性磷酸酶活性与碱解氮之间无显著相关关系。西北干旱半干旱地区全膜双垄沟播玉米种植密度确定为 6.75×10^4 株 $\cdot$ hm⁻² 时, 最佳施肥量为纯 N 210 kg $\cdot$ hm⁻²、P₂O₅ 168 kg $\cdot$ hm⁻²。

关键词: 全膜双垄沟播玉米; 施肥; 酶活性; 氮磷养分; 动态变化

中图分类号: S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)05-0061-08

Dynamics of soil enzyme activity and N and P content under different fertilizer rates in maize field with full plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows

LIU Hong-sheng¹, XU Zhen-feng², YAN Zhi-li³, NIU Jun-yi², GAO Yu-hong², LI-Yang²

(1. Huining Agriculture & Husbandry Bureau, Huining, Gansu 730799, China;

2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract: To further improve maize technical system with full plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows, the field experiment was conducted to determine the dynamic response of the enzyme activity and the content of N (nitrogen) and P (phosphate) in two soil segments (0 to 20 cm and 20 to 40 cm) to different N and P fertilizer application rates, using a randomized complete block design with three replications. The results revealed that the activity of soil urease, phosphatase and invertase as well as the content of soil available N and available P consistently followed a rapid increasing trend during the early growing period of maize. The activity of urease, invertase and catalase and the content of available N peaked at jointing stage, while the highest value of phosphatase activity and available P content occurred at tasselling stage. However, the activity of various soil enzymes and the content of N and P declined during the late growing period. There existed positively significant ($P < 0.05$) or extremely significant ($P < 0.01$) correlations between urease activity and N and P content as well as between alkaline phosphatase activity and available P content. Invertase activity is positively correlated to available N and P content at significant ($P < 0.05$) level. There was no significant correlation between catalase activity and N and P content, as well as between alkaline phosphatase activity and available N. In the arid or semiarid areas of northwest China, the optimal fertilizer application rate for maize with full plastic-film

收稿日期: 2013-04-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30960187)

作者简介: 刘宏胜 (1964—), 男, 农艺师, 研究方向为作物育种与高效栽培。E-mail: gshnyj@163.com。

通信作者: 牛俊义 (1957—), 男, 博士生导师, 教授, 研究方向为作物栽培与生态生理。E-mail: niujy@gsau.edu.cn。

mulching on double ridges and planting in catchment furrows was $N\ 210\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and $P_2O_5\ 168\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ when the plant density was $6.75\times10^4\text{ plant}\cdot\text{hm}^{-2}$.

Keywords: maize with full plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows; fertilizer application; enzyme activity; N and P nutrient; dynamic change

全膜双垄沟播玉米栽培技术是目前我国干旱半干旱地区大面积推广的一项高产栽培技术,该技术集垄面集流、覆膜抑蒸、垄沟种植技术于一体,有效地提高了降水储蓄率和土壤水分利用率,促进了玉米对土壤养分的吸收,增产达 30% 以上^[1-2]。众多学者对全膜双垄沟播玉米栽培技术的增产机理已进行了深入研究,并取得较多成果^[3-7],但有关玉米土壤酶活性及速效养分含量动态变化的研究多基于其他非全膜双垄沟播模式。马忠明等^[8]研究发现,与小麦间作的玉米生育期内土壤过氧化氢酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶总体均呈先高后降趋势;刘淑英^[9]研究认为,氮磷配施处理土壤脲酶活性最高,玉米收获期脲酶活性小于播种期;孙瑞莲等^[10]研究表明,长期施肥能明显提高土壤中蔗糖酶、脲酶、磷酸酶活性,但降低了土壤中过氧化氢酶的活性;温晓霞^[11]等研究发现,与常规裸地耕作相比,采用地膜覆盖能不同程度增加果园土壤蔗糖酶、过氧化氢酶和脲酶活性。隗英华^[12]等研究表明,施氮明显提高了耕层土壤碱解氮含量,表层土壤碱解氮和有效磷含量总体呈先高后降趋势。有关全膜双垄沟播玉米土壤酶活性和养分含量动态变化的研究鲜见报道。本研究根据我国西北地区气候特点,以全膜双垄沟播玉米

田为研究对象,系统分析了不同氮磷施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤酶活性及氮磷养分含量的动态变化特征,旨在为进一步完善全膜双垄沟播玉米栽培技术体系提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2011 年 3—10 月在中国气象局兰州干旱气象研究所定西干旱气象与生态环境试验基地($104^{\circ}37'E,35^{\circ}35'N$)进行。该基地海拔 1 896.7 m,属中温带半干旱区,大陆性季风气候。光能较多,雨热同季,降水少且变率大,气候干燥。年均降水量为 386.0 mm(2002—2011 年),主要集中在 5—10 月(占年降水量的 86.9%)。2011 年降水量为 308.84 mm,为较干旱年份。各月份降雨量分布情况如表 1 所示。试验田土壤质地为黄绵土,土壤养分基础状况如表 2 所示。

1.2 试验材料

试验所用地膜规格宽 120 cm、厚 0.01 mm,由兰州绿园塑业有限公司生产。供试玉米品种为“承单 20 号”,由定西市种子公司提供。供试氮肥为尿素(N 46%),磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 12%)。

表 1 2011 年试验区降雨量月份分布情况
Table 1 Annual rainfall distribution of research area in 2011

月份 Month	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
降雨量 Rainfall/mm	3.52	5.32	10.75	8.10	34.78	30.65	41.77	117.86	45.25	8.13	2.71	0.00

表 2 试验田土壤基础养分状况
Table 2 Soil fertility status of research field before sowing

土壤深度 Soil depth/cm	土壤指标 Soil indicators					
	全氮/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) Total N	全磷/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) Total P	有机质/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) OM	碱解氮/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) Available N	速效磷/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) Available P	pH
0~20	0.76	0.68	11.26	20.65	8.97	8.21
20~40	0.65	0.61	9.87	15.38	6.61	8.28

1.3 试验设计

试验采用 2 因素随机区组设计法,设置施纯 N 量、 P_2O_5 量 2 因素。6 个处理分别为 NP1(N, 0 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; P_2O_5 , 0 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、NP2(N, 120 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;

P_2O_5 , 120 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、NP3(N, 150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; P_2O_5 , 150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、NP4(N, 180 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; P_2O_5 , 180 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、NP5(N, 210 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; P_2O_5 , 210 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、NP6(N, 240 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; P_2O_5 , 240 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),

氮、磷比例为 1:1,以 NP1 为对照(CK)。

3 月 15 日播种覆膜。作业方法^[13]为:设计带宽为 120 cm,沿 40 cm、80 cm 处分别开沟,形成 40 cm、80 cm 的两个垄面,小垄高 15~20 cm,大垄高 10~15 cm,在大小垄相接处形成播种沟。将地膜覆满地面,接茬在大垄中间,边起垄边覆膜,膜与膜之间不留空隙,相接处用土压住地膜,每隔 200 cm 压一土腰带。每沟点种一行玉米,种植密度为 6.75×10^4 株 $\cdot$ hm⁻²。尿素按试验设计量 60%作基肥施入,40%分别在拔节期和灌浆期追施(各 20%)。过磷酸钙全部作基肥施入。每个处理重复 3 次,共 18 个试验小区。小区面积为 23.1 m²(3.3 m $\times$ 7 m),小区间分别留 40 cm、60 cm 宽走道。10 月 6 日收获。所有处理均未进行灌溉,其它管理方式同一般大田。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 土样采集 在播种前及玉米苗期、拔节期、抽雄期、灌浆期和成熟期,按 5 点采样法分别采集各试验小区 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土样。采样后将各土层土样分别混合均匀,剔除石砾和植物残根等杂物,装入自封袋中带回甘肃农业大学国家旱作重点实验室测定土壤脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性以及土壤碱解氮、速效磷含量等相关指标。

1.4.2 测定方法 土壤脲酶活性采用靛酚蓝比色法^[14]测定,以 NH₃-N mg $\cdot$ g⁻¹土(37℃,24 h)表示;土壤碱性磷酸酶活性采用苯磷酸二钠法^[14]进行比色测定,以酚 mg $\cdot$ g⁻¹土(37℃,24 h)表示;过氧化氢酶

活性采用高锰酸钾滴定法^[14]测定,以 0.1 mol $\cdot$ L⁻¹ KMnO₄ ml $\cdot$ g⁻¹土(25℃,20 min)表示;蔗糖酶活性采用 3,5—二硝基水杨酸比色法^[14]测定,以葡萄糖 mg $\cdot$ g⁻¹土(37℃,24 h)表示;土壤碱解氮、速效磷含量分别采用碱解扩散硼酸吸收法、钼锑钨比色法测定^[15]。

1.5 数据处理

利用 Excel 软件对试验所获数据进行整理,利用 SPSS 20.0 软件进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤酶活性的动态变化

2.1.1 脲酶 如图 1 所示,不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米 0~20 cm 土层、20~40 cm 土层脲酶活性均表现为拔节期最高,之后又逐渐降低趋势。但成熟期 0~20 cm 土层脲酶活性呈回升趋势,这可能是由于此时玉米根系逐渐老化,增加了土壤的有机物质含量所致^[16]。施肥均在一定程度上提高了土壤脲酶活性,NP5 处理增幅最大。在苗期、拔节期、抽雄期、灌浆期和成熟期,NP5 处理 0~20 cm 土层脲酶活性分别达到 1.27、1.65、1.41、0.90 mg $\cdot$ g⁻¹和 0.97 mg $\cdot$ g⁻¹,比 CK 处理显著提高了 292.15%、83.07%、99.56%、108.31%和 54.61%($P < 0.05$); 20~40 cm 土层分别达到 0.35、1.07、0.93、0.58 mg $\cdot$ g⁻¹和 0.39 mg $\cdot$ g⁻¹,比 CK 显著提高了 87.61%、115.40%、83.61%、207.22%和 71.25%($P < 0.05$)。

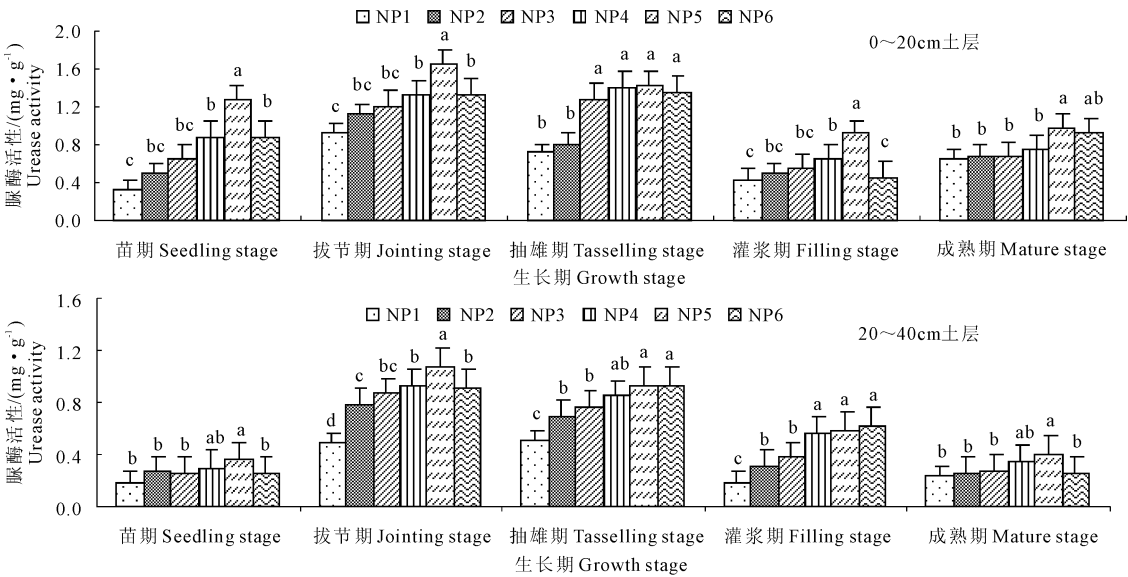


图 1 不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤脲酶活性的动态变化

Fig.1 Dynamics of soil urease activity under different fertilizer rates

注:不同小写字母表示处理间达到显著性差异($P < 0.05$),下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among treatments at $P < 0.05$. The same as below.

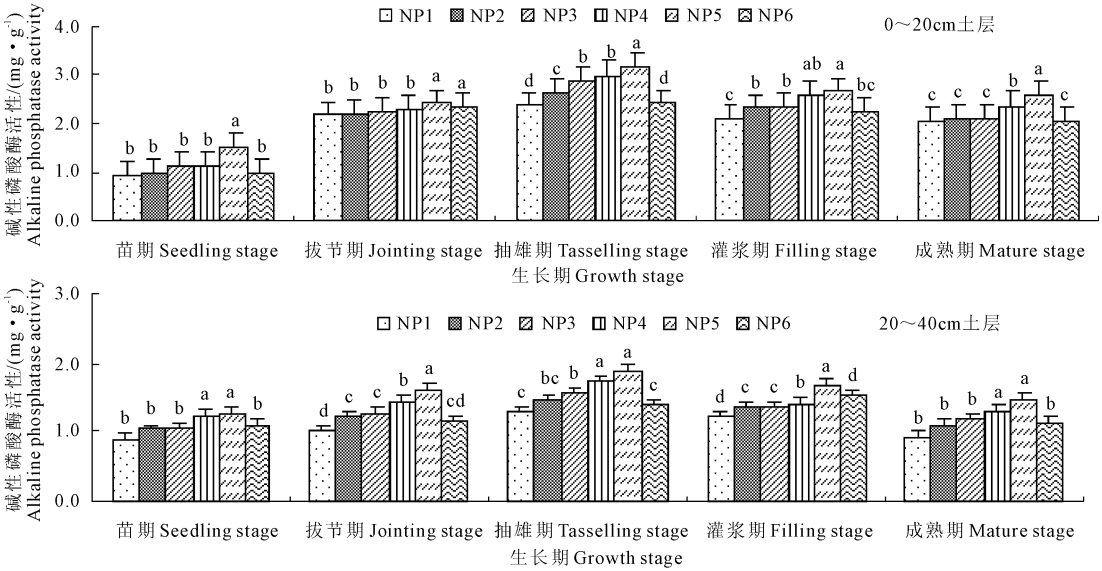


图 2 不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤碱性磷酸酶活性的动态变化

Fig.2 Dynamics of soil alkaline phosphatase activity under different fertilizer rates

2.1.2 碱性磷酸酶 土壤磷酸酶有酸性、中性和碱性之分。因本试验田土壤呈弱碱性,故仅测定了碱性磷酸酶活性。如图 2 所示,不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米 0~20 cm 土层、20~40 cm 土层碱性磷酸酶活性峰值均出现在抽雄期时,随后呈降低趋势,灌浆期和成熟期趋于稳定。施肥均在一定程度上提高了土壤碱性磷酸酶活性,NP5 处理增幅最大。在苗期、拔节期、抽雄期、灌浆期和成熟期,NP5 处理 0~20 cm 土层碱性磷酸酶活性分别达到 1.52、2.42、3.18、2.66 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 2.59 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,比 CK 显著提高了 66.57%、11.21%、33.16%、25.68%和 25.05% ($P < 0.05$);20~40 cm 土层碱性磷酸酶活性分别达到 1.26、1.60、1.87、1.67、1.46 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,比 CK 显著提高了 41.67%、58.91%、45.29%、38.17%和 57.32% ($P < 0.05$)。

2.1.3 蔗糖酶 如图 3 所示,不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米 0~20 cm 土层、20~40 cm 土层蔗糖酶活性变化趋势基本相同,均在拔节期和灌浆期出现 2 个高峰值,拔节期蔗糖酶活性最高,灌浆期次之。与脲酶、碱性磷酸酶变化趋势一致,施肥均在一定程度上提高了土壤蔗糖酶活性,且以 NP5 处理增幅最大。在苗期、拔节期、抽雄期、灌浆期和成熟期,NP5 处理 0~20 cm 土层蔗糖酶活性分别达到 29.98、49.97、36.92、45.58、25.97 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,比 CK 显著提高了 47.80%、24.33%、46.02%、32.31%和 52.00% ($P < 0.05$);20~40 cm 土层蔗糖酶活性分别为 24.01、38.92、29.98、35.80、21.67 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,比 CK 显著提高了 64.20%、25.31%、48.82%、37.42%和 50.46% (P

< 0.05)。

2.1.4 过氧化氢酶 如图 4 所示,不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米 0~20 cm 土层、20~40 cm 土层过氧化氢酶活性也表现出相似的变化趋势,均在拔节期出现峰值,而后逐渐降低,成熟期又呈回升趋势。施肥均在一定程度上提高了土壤过氧化氢酶活性,也以 NP5 处理增幅最大。在苗期、拔节期、抽雄期、灌浆期和成熟期,NP5 处理 0~20 cm 土层过氧化氢酶活性分别达到 2.42、2.68、2.53、2.39、2.43 $\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}$,比 CK 显著提高了 22.88%、13.38%、22.73%、21.02%和 21.79% ($P < 0.05$);20~40 cm 土层过氧化氢酶活性分别达到 2.16、2.58、2.45、2.21、2.39 $\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}$,比 CK 显著提高了 31.94%、13.11%、22.28%、21.69%和 25.24% ($P < 0.05$)。

2.2 不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤速效养分的动态变化

2.2.1 碱解氮 由表 3 可见,不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米 0~20 cm 土层、20~40 cm 土层碱解氮含量变化趋势基本一致,均在拔节期和灌浆期时各出现一次高峰,拔节期土壤碱解氮含量最高。除抽雄期 NP2 处理 0~20 cm 土层碱解氮含量与 CK 比较无显著差异外,其他各处理均显著提高了土壤碱解氮含量。其中,NP5 处理增幅最大,NP4 处理次之,再次为 NP6 处理。在苗期、拔节期、抽雄期、灌浆期和成熟期,NP5 处理 0~20 cm 土层碱解氮含量分别比 CK 显著提高了 47.88%、100.34%、43.95%、78.53%、65.95%,20~40 cm 土层分别比 CK 显著提高了 68.99%、58.77%、71.11%、50.69%、63.70%

($P < 0.05$);NP4 处理 0 ~ 20 cm 土层碱解氮含量分别比 CK 显著提高了 47.08%、84.26%、25.27%、63.87%、43.70%,20 ~ 40 cm 土层分别比 CK 显著提高了 50.92%、38.98%、48.08%、33.32%、49.26% ($P < 0.05$);NP6 处理 0 ~ 20 cm 土层碱解氮含量分

别比 CK 显著提高了 1.88%、19.68%、13.92%、43.64%、45.35%,20 ~ 40 cm 土层分别比 CK 显著提高了 27.11%、43.25%、56.81%、44.45%、44.47% ($P < 0.05$)。

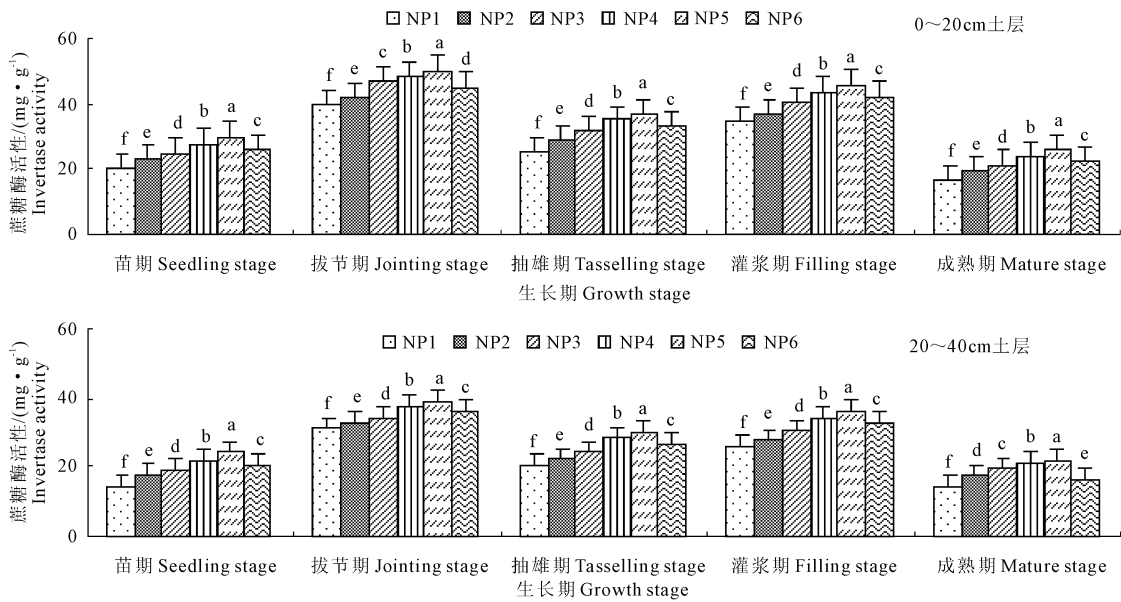


图 3 不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤蔗糖酶活性的动态变化
Fig.3 Dynamics of soil invertase activity under different fertilizer rates

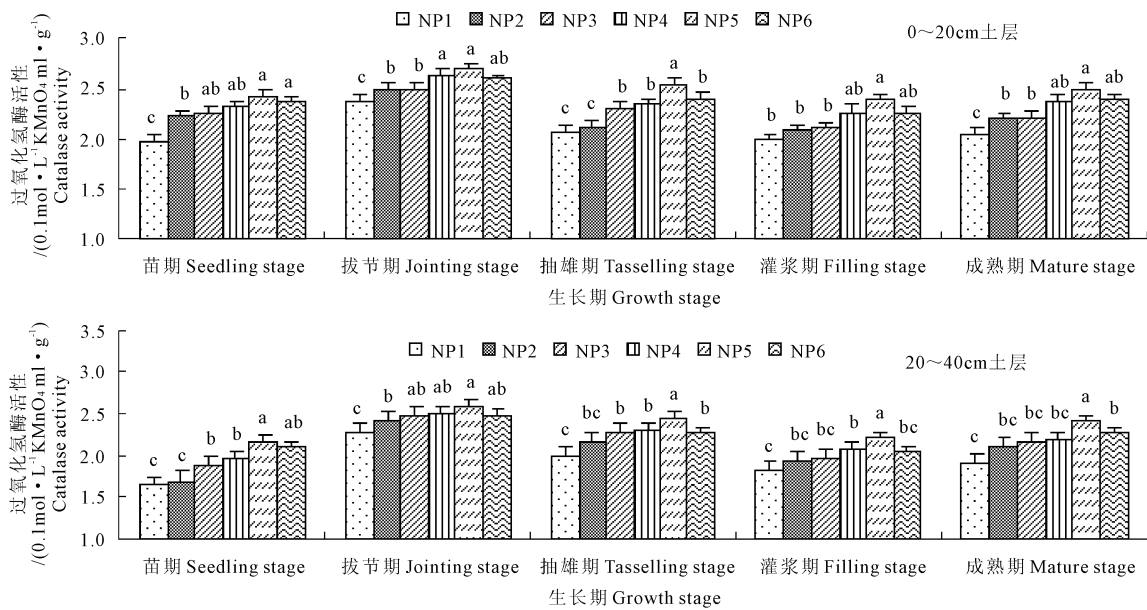


图 4 不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤过氧化氢酶活性的动态变化
Fig.4 Dynamics of soil catalase activity under different fertilizer rates

2.2.2 速效磷 由表 4 可见,不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤速效磷含量从苗期至抽穗期均表现出逐渐升高趋势,抽穗期达到峰值,而后呈下降趋势。各施肥处理均显著提高了土壤速效磷含量($P < 0.05$)。其中,苗期 0 ~ 20 cm 土层和 20 ~ 40 cm 土

层,拔节期、灌浆期、成熟期 20 ~ 40 cm 土层速效磷含量从高到低顺序均为 NP5 > NP6 > NP4 > NP3 > NP2 > NP1,拔节期、灌浆期、成熟期 0 ~ 20 cm 土层速效磷含量从高到低顺序均为 NP5 > NP4 > NP3 > NP6 > NP2 > NP1,抽穗期 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层速

效磷含量从高到低顺序均为 NP5 > NP4 > NP6 > NP3 > NP2 > NP1。NP5 处理土壤速效磷含量增幅最大, 苗期、拔节期、抽雄期、灌浆期和成熟期 0 ~ 20 cm 土层速效磷含量依次比 CK 显著提高了 51.58%、72.86%、92.78%、49.25%、65.63%, 20 ~ 40 cm 土层依次比 CK 显著提高了 55.49%、109.06%、78.11%、79.45%、75.45% ($P < 0.05$)。

表 3 不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤碱解氮含量的动态变化 (mg·kg⁻¹)
Table 3 Dynamics of available N under different fertilizer rates

处理 Treatment	苗期 Seedling stage		拔节期 Jointing stage		抽雄期 Tasselling stage		灌浆期 Filling stage		成熟期 Mature stage	
	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm
NP1 (CK)	43.63e	38.73e	70.58f	68.95f	58.68d	40.08f	66.85f	58.67f	55.68e	42.12f
NP2	45.62c	47.95d	90.92d	77.62e	59.62d	50.15e	87.62e	59.73e	64.04d	48.67e
NP3	61.48b	50.05c	110.95c	87.32d	72.11b	55.05d	90.65d	67.32d	72.81c	55.43d
NP4	64.17a	58.45b	130.05b	95.83c	73.51b	59.35c	109.55b	78.22c	80.01b	62.87b
NP5	64.52a	65.45a	141.40a	109.47a	84.47a	68.58a	119.35a	88.41a	92.40a	68.95a
NP6	44.45d	49.23c	84.47e	98.77b	66.85c	62.85b	96.02c	84.75b	80.93b	60.85c

表 4 不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤速效磷含量的动态变化 (mg·kg⁻¹)
Table 4 Dynamics of available P under different fertilizer rates

处理 Treatment	苗期 Seedling stage		拔节期 Jointing stage		抽雄期 Tasselling stage		灌浆期 Filling stage		成熟期 Mature stage	
	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm
NP1 (CK)	6.63f	4.83f	7.96f	5.22f	8.31e	7.31e	7.96e	5.45e	6.72e	5.01f
NP2	7.31e	5.04e	9.52e	6.54e	10.27d	8.89d	9.06d	6.04d	7.61d	5.61e
NP3	8.55d	5.74d	11.55c	7.51d	13.51c	9.62c	9.99c	6.93c	9.39c	5.93d
NP4	8.84c	6.19c	12.05b	8.61c	14.61b	11.71b	11.02b	7.35b	10.87b	7.37c
NP5	10.05a	7.51a	13.76a	10.96a	16.02a	13.02a	11.88a	9.78a	11.13a	8.79a
NP6	9.39b	6.79b	11.17d	10.39b	13.84c	9.84c	9.81c	7.45b	9.24c	8.04b

2.3 全膜双垄沟播玉米土壤酶活性与氮磷速效养分含量的关系

2.3.1 酶活性与碱解氮含量 由表 5 可见,全膜双垄沟播玉米土壤脲酶活性与碱解氮含量呈极显著正相关($P < 0.01$),蔗糖酶活性与碱解氮含量呈显著正相关($P < 0.05$)。而碱性磷酸酶、过氧化氢酶与碱解氮含量相关性未达到显著水平($P > 0.05$)。

2.3.2 酶活性与速效磷含量 由表 5 可见,全膜双垄沟播玉米土壤脲酶、蔗糖酶活性与速效磷含量呈显著正相关($P < 0.05$)。0 ~ 20 cm 土层碱性磷酸酶活性与速效磷含量呈极显著正相关($P < 0.01$),20 ~ 40 cm 土层碱性磷酸酶活性与速效磷含量呈显著正相关($P < 0.05$)。过氧化氢酶活性与速效磷含量的相关性未达到显著水平($P > 0.05$)。

表 5 全膜双垄沟播玉米土壤酶活性与土壤速效养分含量之间的相关性
Table 5 The correlation coefficient between soil enzyme activity and soil nutrient content

项目 Item	脲酶 Urease		碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase		蔗糖酶 Invertase		过氧化氢酶 Catalase	
	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm
碱解氮 Available N	0.8264**	0.8086**	0.6231	0.6241	0.7176*	0.6923*	0.5463	0.4931
速效磷 Available P	0.7344*	0.6264*	0.7986**	0.7598*	0.7604*	0.7568*	0.4275	0.3226

注: * 显著相关($P < 0.05$), ** 极显著相关($P < 0.01$)。 Note: * Significant at $P < 0.05$; ** Significant at $P < 0.01$.

3 结论与讨论

已有研究表明,土壤水分和温度对土壤酶活性具有重要影响^[17]。全膜双垄沟播种植方式具有增水提温效果,改变了土壤微环境,必然会引起土壤酶

活性发生变化。王聪翔等^[18]研究发现,免耕不覆盖栽培方式土壤酶活性低于免耕覆盖,2 种栽培方式土壤酶活性动态变化趋势基本一致。杨招弟等^[17]研究结果表明,地膜覆盖可增加土壤酶活性,对表层土壤效果更为明显。王静等^[19]研究认为,与常规半

膜覆盖种植方式比较,全膜覆盖种植方式可显著提高土壤水解酶和氧化还原酶活性。还有研究证实,土壤酶活性与土壤养分含量存在一定的相关性^[20-22],土壤酶活性的高低可作为评价土壤肥力的指标^[23-26]。

本研究结果表明,不同施肥水平下全膜双垄沟播玉米土壤酶活性和养分含量动态变化趋势基本一致,施肥并未改变土壤酶活性和养分含量动态变化的基本特征。在玉米生长前期,土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性以及碱解氮、速效磷含量均呈现快速增长趋势。这是由于玉米生长前期对养分响应强烈,根系代谢分泌物逐渐增多,酶代谢活动逐渐增强以及氮、磷养分施入的结果^[27]。其中,脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性和碱解氮含量均在拔节期达到最大值,碱性磷酸酶活性和速效磷含量在抽雄期出现最大值。在玉米生长后期,各种土壤酶活性和碱解氮、速效磷含量出现不同程度的降低,这是玉米叶片逐渐枯黄,根系逐渐衰老,代谢功能和养分吸收能力降低的结果^[28],这与熊明彪、郭天财、马宁宁等^[29-31]的研究结论基本一致。

与其他土壤酶类活性变化动态比较,过氧化氢酶活性在玉米生长过程中变化幅度相对较小,这是由于过氧化氢酶的辅基遭到了肥料中的阴离子封阻所致^[32],也说明过氧化氢酶活性不能表征土壤肥力的状况。本研究结果表明,施肥在一定程度上提高了全膜双垄沟播玉米土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性和碱解氮、速效磷含量,不同玉米生长时期增幅不同。这与程东娟、陈亮、李东坡的研究结论不尽相同^[33-35]。本研究结果证实施肥对0~20 cm土层、20~40 cm土层各种酶类活性和碱解氮、速效磷含量均产生一定程度的影响,但不同土层的变化结果随玉米生长期而异,这与杨招弟等^[17]的研究结论也不尽一致。

本研究结果表明,全膜双垄沟播玉米土壤脲酶活性与碱解氮、速效磷含量,碱性磷酸酶活性与速效磷含量均存在着显著或极显著的正相关关系,土壤蔗糖酶活性与碱解氮、速效磷之间也存在着显著的正相关关系,而过氧化氢酶活性与碱解氮、速效磷之间,碱性磷酸酶活性与碱解氮之间的相关性未达到显著水平,这与刘建新、王灿等^[20-22]研究结论不尽相同。故在评价土壤肥力时,可将土壤脲酶、蔗糖酶活性作为依据。而过氧化氢酶、碱性磷酸酶活性与土壤肥力指标相关性较差,不应作为土壤肥力评价的指标依据。

本研究结果表明,全膜双垄沟播玉米种植密度

确定为 6.75×10^4 株 $\cdot$ hm⁻²时,NP5处理土壤各种酶类及碱解氮、速效磷含量的动态变化最有利于玉米生长,说明在西北干旱半干旱地区,全膜双垄沟播玉米的最佳施肥量为纯N 210 kg $\cdot$ hm⁻²、P₂O₅ 168 kg $\cdot$ hm⁻²,可在生产上大面积推广应用。

参考文献:

- [1] 刘广才,杨祁峰,李来祥,等.旱地玉米全膜双垄沟播技术土壤水分效应研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):18-28.
- [2] 李来祥,刘广才,杨祁峰,等.甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与进展[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):114-119.
- [3] 杨祁峰,岳云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33.
- [4] 李国华.全膜双垄沟播玉米不同覆膜时期水分生产效率研究[J].中国农学通报,2009,25(18):205-207.
- [5] 刘广才,杨祁峰,段襁全,等.甘肃发展旱地全膜双垄沟播技术的主要模式[J].农业现代化研究,2008,29(5):629-632.
- [6] 孙学保,杨祁峰,牛俊义,等.旱地全膜双垄沟播玉米增产效应研究[J].作物杂志,2009,(3):32-36.
- [7] 王红丽,张绪成,宋尚有,等.旱地全膜双垄沟播玉米的土壤水热效应及其对产量的影响[J].应用生态学报,2011,22(10):2609-2614.
- [8] 马忠明,杜少平,王平,等.长期定位施肥对小麦玉米间作土壤酶活性的影响[J].核农学报,2011,25(4):796-801.
- [9] 刘淑英.不同施肥对西北半干旱区土壤脲酶和土壤氮素的影响及其相关性[J].水土保持学报,2010,24(1):220-223.
- [10] 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.
- [11] 温晓霞,殷瑞敬,高茂盛,等.不同覆盖模式下旱作苹果园土壤酶活性和微生物数量时空动态研究[J].西北农业学报,2011,20(11):82-88.
- [12] 隗英华,汪仁,孙文涛,等.辽西石灰性褐土不同施氮模式下的土壤养分动态研究[J].中国土壤与肥料,2011,(2):10-14.
- [13] 王绍美,金胜利,王刚.半干旱区全覆膜双垄沟播技术对玉米产量和水分利用效率的影响[J].甘肃农业大学学报,2010,45(4):100-106.
- [14] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1983:294-313.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1981:62-142.
- [16] Rao M A, Violante A, Gianfreda L. Interaction of acid phosphatases with clays, organic molecules and organomineral complexes: Kinetics and stability[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, (32): 1007-1014.
- [17] 杨招弟,蔡立群,张仁陟,等.不同耕作方式对旱地土壤酶活性的影响[J].土壤通报,2008,39(3):515-517.
- [18] 王聪翔,闻杰,孙文涛,等.不同保护性耕作方式土壤酶动态变化的研究初报[J].辽宁农业科学,2005,(6):16-18.
- [19] 王静,张天佑,徐万海,等.旱地全膜覆盖种植模式对土壤酶活性的影响[J].生态与农村环境学报,2012,28(6):738-741.
- [20] 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.

[21] 王 灿,王德建,孙瑞娟,等.长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性[J].生态环境,2008,17(2):688-692.

[22] 杨 刚,谢永宏,陈心胜,等.洞庭湖区退田还湖后不同恢复模式下土壤酶活性的变化[J].应用生态学报,2009,20(9):2187-2192.

[23] Vepsilinen M, Kukkonen S, Vestberg M, et al. Application of soil enzyme activity test kit in a field experiment[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001,(33):1665-1672.

[24] Kozdroj J, Van Elsas J D. Response of the bacterial community to root exudates in soil polluted with heavy metals assessed by molecular and cultural approaches[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000,32(10):1405-1417.

[25] Eivazi F, Bayan M R. Select soil enzyme activities in the historic sanborn field as affected by long term cropping systems[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2003,(34):2259-2275.

[26] 薛 冬,姚槐应,何振立,等.红壤酶活性与肥力的关系[J].应用生态学报,2005,16(8):1455-1458.

[27] 沈 宏,曹志洪,徐本生,等.玉米生长期土壤微生物量与土壤酶变化及其相关性研究[J].应用生态学报,1999,10(4):471-474.

[28] 牛俊义,闫志利.旱地作物地膜覆盖栽培理论与技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2012:64-86.

[29] 熊明彪,田应兵,雷孝章,等.小麦生长期土壤养分与土壤酶活性变化及其相关性研究[J].水土保持学报,2003,17(4):28-30.

[30] 郭天财,宋 晓,马冬云,等.施氮量对冬小麦根际土壤酶活性的影响[J].应用生态学报,2008,19(1):110-114.

[31] 马宁宁,李天来,武春成,等.长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响[J].应用生态学报,2010,21(7):1766-1771.

[32] 周礼恺.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987:182-228.

[33] 程东娟,刘树庆,王殿武,等.长期定位培肥对土壤酶活性及土壤养分动态变化影响[J].河北农业大学学报,2003,26(3):34-36.

[34] 陈 亮,赵兰坡,赵兴敏.秸秆焚烧对不同耕层土壤酶活性、微生物数量以及土壤理化性状的影响[J].水土保持学报,2012,26(4):119-122.

[35] 李东坡,武志杰,陈利军,等.长期不同培肥黑土磷酸酶活性动态变化及其影响因素[J].植物营养与肥料学报,2004,10(5):550-553.



(上接第 60 页)

[4] Gehring J M, Lewis A J. Effect of hydrogel on wilting and moisture stress of bedding plants[J]. J Amer Soc Hortsci, 1980,105(4):511-513.

[5] 黄 震,黄占斌,李文颖,等.不同保水剂对土壤水分和氮素保持的比较研究[J].中国生态农业学报,2010,18(2):245-249.

[6] 杨连利,李仲谨,邓娟利.保水剂的研究进展及发展新动向[J].材料导报,2005,19(6):42-44.

[7] 李秧秧,黄占斌.节水农业中化控技术的应用研究[J].节水灌溉,2001,(3):4-6.

[8] 董 英,郭绍辉,詹亚力.聚丙烯酰胺的土壤改良效应[J].高分子通报,2004,(5):83-87.

[9] 赵玉坤,武继承.不同用量保水剂对玉米苗期生理生态特性的影响[J].河南农业科学,2010,(6):31-34.

[10] 王洪君,陈宝玉,梁烜赫,等.保水剂吸水特性及对玉米苗期生长的影响[J].玉米科学,2011,19(5):96-99.

[11] 黄占斌,张玲春,董 莉,等.不同类型保水剂性能及其对玉米生长效应的比较[J].水土保持学报,2007,21(1):140-143.

[12] 方 锋,黄占斌,俞满源.保水剂与水分控制对辣椒生长及水分利用效率的影响研究[J].中国生态农业学报,2004,12(2):73-76.

[13] 汪立刚,武继承,王林娟.保水剂有效使用的土壤水分条件及对小麦的增产效果[J].土壤,2003,(1):80-82.

[14] 吴德瑜.保水剂与农业[M].北京:中国农业科技出版社,1991:39-42.

[15] 黄占斌,辛小桂,宁荣昌,等.保水剂在农业生产中的应用与发展趋势[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):11-14.

[16] 高凤文,罗盛国,姜佰文.保水剂对土壤蒸发及玉米幼苗抗旱性的影响[J].东北农业大学学报,2005,36(1):11-14.

[17] 陈琼贤,郭和蓉,彭志平,等.营养型土壤改良剂对玉米的增产效果和对土壤肥力的影响[J].土壤通报,2005,6(3):463-464.

[18] 唐泽军,雷廷武,赵小勇,等.PAM改善黄土水土环境及对玉米生长影响的田间试验研究[J].农业工程学报,2006,22(4):216-219.

[19] Huttermann A, Zommodi M, Reise K. Addition of hydro-gels to soil for prolonging the survival of Pinus halepensis seedling subjected to drought[J]. Soil and Tillage Research, 1999,50(4):295-304.

[20] 王哈生,王青宁.保水剂农用抗旱增效研究现状[J].干旱地区农业研究,2001,19(4):38-45.

[21] 员学锋,汪有科,吴普特,等.PAM对土壤物理性状影响的试验研究及机理分析[J].水土保持学报,2005,19(2):37-40.

[22] 丁 林,张新民.保水剂对春玉米注水播种条件下土壤水分及生长发育的影响[J].中国农村水利水电,2010,(11):56-60.

[23] 严慧峻,魏由庆,左余宝,等.盐渍土麦秸还田效应研究初探[J].土壤肥料,1993,(3):15-17.

[24] 王小彬.土壤颗粒大小对水、肥保持和运移的影响[J].土壤,1997,15(1):64-68.

[25] 李吉进,徐秋明,张宜霞,等.膨润土对土壤水分和玉米植株生育性状的影响[J].北京农业科学,2001,(6):18-20.

[26] 李吉进,徐秋明,倪小会,等.施用膨润土对土壤含水量和有机质含量的影响[J].华北农学报,2002,17(2):88-91.

[27] 吕晋晓,王曰鑫.腐植酸保水肥与秸秆覆盖在旱作玉米上的试验研究[J].腐植酸,2009,(4):14-18,36.