

吕瑞珍,黄明,熊瑛,等.豆麦轮作下耕作方式对土壤理化性状及酶活性的影响[J].江苏农业科学,2015,43(1):100-103.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.01.033

# 豆麦轮作下耕作方式对土壤理化性状及酶活性的影响

吕瑞珍,黄明,熊瑛,李友军,张均,孙华尊

(河南科技大学农学院,河南洛阳 471003)

**摘要:**在大田豆麦轮作定位试验条件下,研究了翻耕、翻耕秸秆覆盖、旋耕、旋耕秸秆覆盖、免耕秸秆覆盖和深松秸秆覆盖对冬小麦麦田土壤有机质、速效磷、速效钾、全氮、容重、pH 值、酶活性的影响。结果表明,秸秆覆盖处理能显著提高 0~10 cm 和 10~20 cm 土层有机质、全氮、速效磷、速效钾含量,不同耕作方式在各个土层呈现表层聚集现象;翻耕和旋耕速效钾含量和酶活性随着土层的加深呈现先升高后下降趋势,免耕秸秆覆盖和深松秸秆覆盖土壤养分和酶活性随着土层深度的增加呈逐渐下降趋势,且秸秆覆盖处理显著高于传统耕作不覆盖处理;翻耕和旋耕处理土壤容重和 pH 值显著高于深松秸秆覆盖处理;深松秸秆覆盖处理能显著提高土壤脲酶和碱性磷酸酶活性,相关分析表明,土壤养分与碱性磷酸酶、脲酶呈极显著相关关系,可作为评价土壤肥力的指标。综合试验结果可知,深松秸秆覆盖可作为旱作区适宜的耕作方式进行推广。

**关键词:**耕作方式;秸秆覆盖;理化性质;土壤酶活性;夏大豆;冬小麦;土壤肥力

**中图分类号:** S158.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)01-0100-04

土壤酶参与土壤中一切复杂的生物化学过程,对土壤有机质的转化起着重要作用,其活性的高低客观地反映土壤肥力状况<sup>[1]</sup>;土壤理化性质主要包括土壤结构、pH 值、容重及土壤养分等几个方面,其中容重是衡量土壤紧实程度的一个重要物理指标;土壤养分提供植物生活所必需的营养元素,其含量对作物的生长发育有重要影响<sup>[2-3]</sup>;土壤理化性状与土壤酶活性二者共同作用并推动着土壤代谢过程,影响作物的生长。不同的栽培制度、管理措施、植物根系的分泌物、秸秆覆盖及死亡根茬的矿化和分解等都会影响土壤理化性状的空间变异和土壤酶活性含量<sup>[1,4-5]</sup>。

豫西丘陵地区由于长期使用传统耕作耕翻,致使水土流失严重,土壤肥力下降,耕性变差,又加上春季降水少,易形成春旱,严重制约着该区旱作农业的可持续发展<sup>[6]</sup>。冬小麦是该区旱作农田主要粮食作物,大豆可以通过固定大气中的氮素以增加土壤中的氮素,是农田用地和养地相结合的重要措施。大豆与其他作物轮作具有提高土壤肥力、减小地表径流、增加作物产量、减少病虫害、降低杂草种类以及提高单位面积土地经济效益与生态效益等一系列优点<sup>[7-10]</sup>,豆麦轮作是提高作物产量和改善农田生态环境的一项重要农业技术措施。但一直以来,前人研究主要集中在免耕及秸秆还田对作物产量和土壤养分含量影响方面<sup>[5,11-12]</sup>,对豆麦轮作条件下耕作方式对土壤理化性质及其酶活性,特别是旱作区土壤理化性质及其与酶活性之间关系的研究较少,且结论不

一<sup>[13-15]</sup>。为此本研究探讨了豫西旱作雨养区豆麦轮作长期定位条件下,6 种不同耕作方式对冬小麦土壤理化性状及酶活性的影响,旨在研究不同耕作方式对培肥地力的效应,为轮作条件下确定合理的耕作方式提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2012—2013 年在河南省洛阳市旱作与节水重点试验基地进行,该区属暖温带半湿润偏旱气候,年平均气温 12.1~14.5℃,年平均降水量 600 mm 左右,且 60%~70% 集中在 6—8 月。试验共设 6 种耕作处理,具体见表 1,随机区组排列,重复 3 次,小区面积为 60 m<sup>2</sup> (3 m×20 m)。供试品种为冬小麦品种洛旱 6 号,前茬作物为大豆。

### 1.2 测定项目和方法

于 2013 年冬小麦收获期采集土壤样品,每小区用土钻按 5 点取样法分别取 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 3 个土层,将所得土样装入无菌封口塑料袋中,自然风干后,混合均匀过 1 mm 筛,进行养分含量和酶活性的测定。土壤有机质含量测定采用重铬酸钾容量法<sup>[16]</sup>;土壤全氮含量测定采用凯氏定氮消煮法<sup>[16]</sup>;土壤速效磷含量测定采用钼锑抗比色法<sup>[16]</sup>;土壤速效钾含量测定采用火焰光度计法<sup>[16]</sup>。土壤 pH 值用酸度计测定;土壤酶活性的测定参照关松荫的方法<sup>[17]</sup>:蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,以 24 h 后 1 g 土壤中含葡萄糖的 mg 数表示;脲酶活性采用靛酚蓝比色法,以 24 h 后 1 g 土壤中释放氨态氮的 mg 数表示;碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法,以 24 h 后 1 g 土壤中释放酚的 mg 数表示;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法。土壤容重采用环刀法测定。

### 1.3 数据处理与分析

所有数据均利用 Microsoft Excel 2003 软件进行制图,用 SPSS 17.0 软件进行方差分析。

收稿日期:2014-02-22

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:102102110030);河南省洛阳市科技攻关项目(编号:1001041A)。

作者简介:吕瑞珍(1986—),女,河南新乡人,硕士研究生,从事作物高产优质栽培理论与技术研究。E-mail:lrz201@163.com。

通信作者:李友军,教授,博士,博士生导师,从事作物高产优质栽培理论与技术研究。E-mail:nxylyj@sina.com。

表 1 试验处理

代码	处理	耕作和秸秆还田方式
CT	翻耕	夏大豆收获时保留 5 ~ 6 cm 的残茬,并翻地 30 cm,同时结合施肥,接着耙磨、播种,秸秆不还田。
CTS	翻耕秸秆覆盖	夏大豆收获时保留 5 ~ 6 cm 的残茬,并翻地 30 cm,同时结合施肥,接着耙磨、播种,上季作物收获脱粒后将所有秸秆粉碎 5 cm 左右,均匀覆盖于原小区。
RT	旋耕	夏大豆收获后旋耕 15 cm,同时结合施肥,接着播种,秸秆不还田。
RTS	旋耕秸秆覆盖	夏大豆收获后旋耕 15 cm,同时结合施肥,接着播种,上季作物收获脱粒后将所有秸秆粉碎 5 cm 左右,均匀覆盖于原小区。
NTS	免耕秸秆覆盖	全年不耕作,播种时用免耕播种机一次性完成播种和施肥,收获后用 2,4 - D 丁酯除草,上季作物收获脱粒后将所有秸秆粉碎至 5 cm 左右,均匀覆盖于原小区。
STS	深松秸秆覆盖	播种前用深松播种机间隔 60 cm 深松 30 ~ 35 cm,并一次性完成播种和施肥,夏大豆收获脱粒后将所有秸秆粉碎至 5 cm 左右,均匀覆盖于原小区。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对土壤理化性状的影响

2.1.1 不同耕作方式对土壤有机质和全氮含量的影响 不同耕作方式下 0 ~ 40 cm 土壤有机质含量变化不同(表 2),秸秆覆盖处理明显高于不覆盖处理,其中以 NTS、STS 处理含量最高,分别比 CT 处理提高了 13.20%、9.20%;各处理下有机质含量随着土层深度的增加呈现逐渐降低的趋势,表现为 0 ~ 10 cm > 10 ~ 20 cm > 20 ~ 40 cm,呈现出表层聚集现象;就不同土层而言,0 ~ 10 cm 土层土壤有机质含量大小为 NTS > STS > RTS > CTS > RT > CT,CTS 处理显著高于 CT 处理,RTS

处理高于 RT 处理,但差异不显著;10 ~ 20 cm 土层土壤有机质含量表现为 STS > NTS > RTS > CTS > CT = RT,STS、NTS、RTS 处理都显著高于其他 3 种处理,这 3 者之间无显著差异;20 ~ 40 cm 土层变化规律与 10 ~ 20 cm 土层基本一致。

由表 2 可知,不同耕作方式土壤全氮含量在 0 ~ 40 cm 土层内的平均值差别不大,秸秆覆盖处理下土壤全氮含量在 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 土层剖面大部分均显著高于 CT、RT 处理;并且随着土层深度的增加,各个处理全氮含量略有下降,这主要是由于秸秆覆盖主要分布在土壤表层,经过长时间的腐烂分解之后增加了表层全氮的含量。

表 2 不同耕作方式对土壤理化性状的影响

土层 (cm)	处理	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	pH 值
0 ~ 10	CT	19.55d	1.00e	21.10e	138.32f	1.26a	8.03a
	CTS	20.65bc	1.04d	21.91e	170.90c	1.24b	7.92b
	RT	20.25cd	1.02d	23.86d	148.69e	1.27a	8.05a
	RTS	20.88bc	1.17c	31.50c	158.93d	1.26a	8.05a
	NTS	22.13a	1.24b	34.88b	244.04a	1.27a	7.90b
	STS	21.35ab	1.36a	38.04a	202.81b	1.22c	7.92b
10 ~ 20	CT	19.08b	0.96d	15.26e	142.31e	1.35a	8.08ab
	CTS	19.32b	1.03c	20.97d	165.58c	1.33a	8.06bc
	RT	19.08b	0.95d	23.05c	150.95d	1.35a	8.12a
	RTS	20.10a	1.13b	29.03b	152.95d	1.34a	8.03c
	NTS	20.18a	1.22a	29.10b	206.14a	1.36a	7.97d
	STS	20.41a	1.21a	34.61a	182.20b	1.25b	7.95d
20 ~ 40	CT	14.30c	0.81b	8.40d	141.64ab	1.38a	8.16a
	CTS	15.09b	0.83b	10.15c	138.32ab	1.37a	8.07b
	RT	14.80b	0.80b	10.75bc	130.34bc	1.38a	8.15a
	RTS	17.15a	0.92a	11.90ab	118.37c	1.38a	8.09b
	NTS	17.36a	0.96a	12.10a	128.34bc	1.39a	8.16a
	STS	17.31a	0.96a	11.76ab	148.96a	1.32b	8.07b

注:同列数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 3 同。

2.1.2 不同耕作方式对土壤速效养分含量的影响 由表 2 可以看出,6 种耕作方式下,土壤速效磷含量和速效钾含量变化趋势不一致。土壤速效磷含量是随着土壤剖面的加深呈下降的规律,均表现为 0 ~ 10 cm > 10 ~ 20 cm > 20 ~ 40 cm;不同耕作方式表现为秸秆覆盖处理(CTS、RTS、NTS、STS)大部分都显著高于其他处理,原因可能是有秸秆覆盖的土壤有机质

含量比较高,同时有机质分解产生的有机酸及其产物对某些固定磷的化合物具有很好的溶解力,此外由于磷在土壤中的移动性小,因此造成上层土壤速效磷表聚现象<sup>[18]</sup>。

相对于土壤速效磷而言,土壤速效钾含量则是 CT、RT 处理随着土层深度的增加呈现先上升后下降的趋势,而其他 4 种处理则表现为随着土壤剖面的增加呈逐渐降低的趋势。在

0~40 cm 土层范围,与 CT 处理相比,STS、NTS、RTS、CTS 处理速效钾含量平均值分别提高 26.45%、37.00%、1.89%、12.44%,这主要是由于有秸秆覆盖的有机质含量较高,同时有机质分解产生的酸性物质能降低矿物质对钾的固定作用,作物秸秆里也含有很多的水溶性钾,从而能够提高土壤速效钾的含量水平<sup>[18]</sup>。

2.1.3 不同耕作方式对土壤容重和 pH 值的影响 容重是土壤重要的物理性质,影响作物根系在土壤中的穿插和土壤水、肥、气、热在土壤中移动转换状况<sup>[19]</sup>。从表 2 不同耕作方式下耕层土壤容重的变化动态研究发现,小麦收获期 0~20 cm 土壤容重变化较大,而 20~40 cm 层次变化较小。在 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 3 个层次,随着土壤深度增加,容重增加;不同耕作措施对上层土壤容重影响较大,CT 和 STS 处理由于前期有翻动的作用,容重不大或较小;而 NTS 处理由于长期不进行耕作处理,土壤紧实,容重比较大。STS 处理在 0~40 cm 土层下土壤容重都较小,说明 STS 处理能够有效地增加土壤的通透性,有利于植物根系的生长。土壤 pH 值对作物的生长发育、土壤微生物数量、土壤酶活性以及土壤养

分的有效性影响很大。秸秆覆盖处理的 pH 值低于或不高于 CT、RT 处理(表 2),并且大部分处理都是随着土层深度的增加呈逐渐上升的趋势,说明秸秆覆盖后能够增加土壤表层酸性,降低土壤碱性对植株的危害。

2.2 不同耕作方式对土壤酶活性的影响

2.2.1 不同耕作方式对土壤水解酶活性的影响 水解酶是土壤里数量较多的一种酶,它参与土壤中有机质的转化,对提高植物和微生物利用的可溶性营养物质起重要作用。人们研究较多的水解酶有蔗糖酶、磷酸酶和脲酶等,蔗糖酶广泛存在于土壤中,常用来表征土壤熟化程度,脲酶常用来表示土壤的氮素供应状况,磷酸酶能提高磷素的有效性<sup>[1,17-18]</sup>。本试验土壤偏碱性,因此选用了碱性磷酸酶进行研究,由表 3 可以看出,覆盖处理下土壤水解酶发生了明显的变化,3 种水解酶在 CT 处理下酶活性均是随着土层的加深呈现先增后降的趋势;而 NTS 和 STS 处理下酶活性大都随着土层的加深而降低;在 RTS、NTS、STS 处理下,3 种水解酶活性在大部分情况下较 CT 处理显著提高,说明这 3 种耕作方式更加有利于土壤碳氮的转化。

表 3 不同耕作方式对土壤酶活性的影响

土层 (cm)	处理	蔗糖酶 [葡萄糖,mg/(g·d)]	脲酶 [NH <sub>3</sub> -N,g/(g·d)]	碱性磷酸酶 [酚,mg/(g·d)]	过氧化氢酶 [0.1 mol/L KMnO <sub>4</sub> ,mL/(g·h)]
0~10	CT	21.28d	1.86c	0.58c	3.40c
	CTS	22.56c	1.92c	0.61c	3.56bc
	RT	24.66a	2.05b	0.61c	3.66ab
	RTS	23.46bc	2.20a	0.68b	3.70ab
	NTS	23.94ab	2.14ab	0.73a	3.78ab
	STS	23.82ab	2.22a	0.72a	3.86a
10~20	CT	21.88b	1.94c	0.59c	3.52bc
	CTS	22.34b	1.95c	0.63ab	3.14d
	RT	21.85b	2.10b	0.58c	3.38c
	RTS	24.34a	2.16a	0.66a	3.60b
	NTS	22.35b	2.11b	0.61b	3.43bc
	STS	24.23a	2.20a	0.64a	3.85a
20~40	CT	21.64a	1.77c	0.51b	3.18a
	CTS	21.70a	1.80c	0.50bc	3.13a
	RT	19.38b	1.80c	0.47c	3.35a
	RTS	21.93a	1.88b	0.52b	3.22a
	NTS	20.57ab	2.01a	0.59a	3.32a
	STS	22.05a	1.90b	0.57b	3.43a

在 0~10 cm 土层,CTS 和 CT 处理下 3 种水解酶的活性均是 CTS>CT,蔗糖酶活性之间差异显著,脲酶和碱性磷酸酶差异不显著。RT 处理和 RTS 处理相比较,蔗糖酶除了 RT 处理略高于 RTS 处理外,脲酶和碱性磷酸酶均为 RTS>RT,差异达到显著水平。与 CT 处理相比,0~10 cm 土层蔗糖酶活性 RTS、NTS、STS 处理分别提高了 10.24%、12.50%、11.94%,脲酶活性分别比 CT 处理提高了 18.28%、15.05%、19.35%,碱性磷酸酶活性分别比 CT 处理提高了 17.24%、25.86%、24.14%,差异均达到显著水平。10~20 cm 土层,蔗糖酶和脲酶活性表现为 STS 和 RTS 处理含量最高,显著高于其他处理;碱性磷酸酶活性表现为 RTS>STS>CTS>NTS>CT>RT,以旋耕处理含量最低。20~40 cm 土层,3 种水解酶的活性大小顺序与 10~20 cm 土层相似,差异均不明

显,3 种水解酶活性均为 RTS>RT,差异显著。

2.2.2 不同耕作方式对土壤过氧化氢酶活性的影响 过氧化氢酶参与土壤中物质和能量转化,具有分解土壤中对植物体有害的过氧化氢的作用。由表 3 可知,6 种耕作方式下冬小麦土壤过氧化氢酶活性在 0~40 cm 剖面变化不一,随土层的加深 CT 处理呈先增后减趋势,为 10~20 cm>0~10 cm>20~40 cm,其他 5 种处理随土层深度的增加呈递减趋势,即 0~10 cm>10~20 cm>20~40 cm。不同处理间比较可知,0~10 cm 土层,STS>NTS>RTS>RT>CTS>CT,STS 高于其他处理,RT、RTS、NTS 处理的过氧化氢酶高于 CT 处理,差异显著。10~20 cm 土层,STS 处理显著高于 CT 处理,增加了 9.38%;20~40 cm 土层虽然表现为 STS、NTS、RTS、RT 处理高于 CT,但各个处理之间差异均不显著。总体来讲,STS 处

理的过氧化氢酶活性增幅最高,效果最好。

2.3 土壤理化性状与土壤酶活性相关关系

有研究认为土壤理化性状在很大程度上受制于土壤酶的影响,但结论不一;为了探明土壤理化性状与土壤酶活性之间相关关系,对土壤中 4 种主要酶活性与土壤理化性状指标进行了相关性分析。结果(表 4)表明,土壤有机质、全氮、速效

磷、速效钾含量和脲酶、碱性磷酸酶活性均呈极显著相关,过氧化氢酶除了与有机质无相关性外,与全氮、速效磷、速效钾呈显著相关或极显著相关;而蔗糖酶除了与有机质、速效钾显著相关外,与其他理化性状相关性均不显著;土壤容重与土壤碱性磷酸酶呈显著负相关关系,土壤 pH 值与脲酶、碱性磷酸酶分别呈显著、极显著负相关关系。

表 4 土壤理化性状和酶活性相关关系

酶名称	相关系数					
	有机质	全氮	速效磷	速效钾	容重	pH 值
蔗糖酶	0.518 *	0.236	0.152	0.503 *	-0.196	0.102
脲酶	0.809 **	0.820 **	0.900 **	0.616 **	-0.431	-0.527 *
碱性磷酸酶	0.857 **	0.948 **	0.880 **	0.660 **	-0.503 *	-0.669 **
过氧化氢酶	0.416	0.572 *	0.678 **	0.614 **	-0.364	-0.435

注:“\*”表示显著相关,“\*\*”表示极显著相关。

3 结论与讨论

众多的学者关心秸秆还田后能否改善土壤培肥效果<sup>[1-2,4,20-21]</sup>,大多数研究结果表明,秸秆还田或覆盖后能够提高土壤的肥力水平。本试验的结果也证实了前人的研究,本试验分析得出,不同耕作方式结合秸秆覆盖对土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量均有不同程度的提高作用,不同耕作方式对土壤有机质、全氮、速效磷含量在不同土层内表现出相同的变化趋势,即随着土层深度的增加,呈现逐渐降低的规律;CT、RT 处理的土壤速效钾则是呈现先升高后降低的规律;秸秆覆盖处理能够降低土壤 0~10 cm 层次的土壤 pH 值。有研究表明,保护性耕作方式下土壤酶活性有所提高,不同耕作方式可能会造成土壤酶活性的差异<sup>[18]</sup>,本试验证实了上述的观点。周礼恺等认为<sup>[13-14]</sup>,土壤酶活性与土壤肥力因子有显著相关关系,可以作为衡量土壤肥力指标之一;周瑞莲等研究表明,土壤酶活性与土壤肥力水平不存在显著相关关系<sup>[15]</sup>,本试验相关分析结果表明,土壤脲酶和碱性磷酸酶与土壤肥力因子有极显著的正相关关系,可以作为衡量旱作区土壤肥力高低的主要指标,过氧化氢酶可以起辅助作用;通过相关分析结果还说明,土壤养分和蔗糖酶、碱性磷酸酶可以共同反映豫西旱作雨养区土壤肥力水平的高低。STS 不仅解决了因秸秆燃烧带来的资源浪费和环境污染问题,而且在本试验条件下,综合土壤理化性状及土壤酶活性等指标,认为 STS 处理最优,是一种值得大面积推广的耕作技术。

参考文献:

[1] 张星杰,刘景辉,李立军,等. 保护性耕作方式下土壤养分、微生物及酶活性研究[J]. 土壤通报,2009,40(3):542-546.  
[2] 康 轩,黄 景,吕巨智,等. 保护性耕作对土壤养分及有机碳库的影响[J]. 生态环境学报,2009,18(6):2339-2343.  
[3] 王 鑫,刘建新,张希彪,等. 黄土高原半干旱地区土地利用变化对土壤养分、酶活性的影响研究[J]. 水土保持通报,2007,27(6):50-55.  
[4] 吴海燕,金荣德,范作伟,等. 东北黑土区不同耕作方式土壤养分与酶活性的时空变化[J]. 水土保持学报,2009,23(6):154-157,170.  
[5] 孔凡磊,陈 阜,张海林,等. 轮耕对土壤物理性状和冬小麦产量

的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(8):150-155.  
[6] 张 洁,姚宇卿,吕军杰,等. 豫西旱坡地长期保护性耕作土壤酶活性及其与肥力关系[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(2):142-146.  
[7] 邢 福,周景英,金永君,等. 我国草田轮作的历史、理论与实践概览[J]. 草业学报,2011,20(3):245-255.  
[8] 魏守辉,强 胜,马 波,等. 不同作物轮作制度对土壤杂草种子库特征的影响[J]. 生态学杂志,2005,24(4):385-389.  
[9] 王 俊,李凤民,贾 宇,等. 半干旱黄土区苜蓿草地轮作农田土壤氮、磷和有机质变化[J]. 应用生态学报,2005,16(3):439-444.  
[10] 毕冬梅,张仁陟,汪 娟,等. 不同耕作措施对麦-豆轮作条件下土壤有机碳库与微生物商的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(6):11-16,22.  
[11] 吴建富,潘晓华,石庆华,等. 不同耕作方式对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(3):496-502.  
[12] 李玲玲,黄高宝,秦舒浩,等. 保护性耕作对绿洲灌区冬小麦产量形成的影响[J]. 作物学报,2011,37(3):514-520.  
[13] 邱莉萍,刘 军,王益权,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):277-280.  
[14] 周礼恺,张志明,曹承绵. 土壤酶活性的总体在评价土壤肥力水平中的作用[J]. 土壤学报,1983,20(4):413-418.  
[15] 周瑞莲,张普金,徐长林. 高寒山区火烧土壤对其养分含量和酶活性的影响及灰色关联分析[J]. 土壤学报,1997,34(1):89-96.  
[16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,1999:30-114.  
[17] 关松荫. 土壤酶学研究方法[M]. 北京:农业出版社,1986:274-324.  
[18] 罗珠珠,黄高宝,Li G D,等. 保护性耕作对旱作农田耕层土壤肥力及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(5):1085-1092.  
[19] 李友军,付国占,张灿军,等. 保护性耕作理论与技术[M]. 北京:中国农业出版社,2008:106.  
[20] 郑郁善,黄宝龙. 福建含笑杉木混交林生物量和土壤肥力的研究[J]. 南京林业大学学报,1998,22(2):51-54.  
[21] 徐国伟,段 骅,王志琴,等. 麦秸还田对土壤理化性质及酶活性的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(3):934-942.