

膨润土对燕麦苗期土壤水分及生物学性状的影响

孙梦媛¹, 刘景辉¹, 马 斌¹, 张翼超³, 严威凯², 马保罗²

(1. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 加拿大渥太华研究与发展中心, 渥太华市, K1A 0C6;

3. 鄂尔多斯市东胜区气象局, 内蒙古 东胜 017000)

摘 要: 为明确膨润土对黄土高原旱作土壤保水改土效果, 设计试验: 施用量 $0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (CK)、 $6\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (D1)、 $12\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (D2)、 $18\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (D3)、 $24\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (D4)、 $30\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (D5); 2011 年一次性施入, 2012—2015 年研究其对燕麦苗期土壤含水量、微生物量碳、氮和土壤酶活性的影响。结果表明, 膨润土各施用量均能提高燕麦出苗率, 2012 年 D2、D3 处理最佳, 较对照提高了 11.41%、8.93%; 2013 年 D3、D4 处理表现较好, 较对照提高了 8.39%、5.56%; 2014 年表现为 D4、D5 处理较对照提高了 10.25%、8.32%; 2015 年表现为 D4、D5 处理较对照提高了 8.71%、7.48%。同时, 发现施用膨润土可提高苗期 0~100 cm 土层土壤含水量, 尤以 10~20 cm 土层变化最显著, 较对照提高 1.21%~40.76%。施用膨润土能显著增加 2012—2015 年 0~10 cm 土层土壤微生物生物量碳、氮含量、土壤过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性, 可分别较 CK 增加 2.92%~31.42%、5.05%~47.15%、4.75%~45.89%、2.73%~49.91%、6.67%~70.00%。可见, 膨润土能够显著改善耕层土壤的保水性和持水性、改善土壤生物学性状, 且其效果具有一定的长效性, 随着施用年限增加, 高施用量处理效果最显著。

关键词: 膨润土; 出苗率; 土壤含水量; 生物学性状

中图分类号: S512.6; S152.7 **文献标志码:** A

The effects of bentonite on soil moisture and biological characteristics of oat at seedling stage

SUN Meng-yuan¹, LIU Jing-hui¹, MA Bin¹, ZHANG Yi-chao³, YAN Wei-kai², MA Bao-luo²

(1. Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019, China;

2. Ottawa, Canada, Research and Development Center, Ottawa K1A 0C6, Canada;

3. Ordos City Dongsheng District Weather Bureau, Dongsheng, Inner Mongolia 017000, China)

Abstract: To investigate the role of bentonite soil supplement on water retention and soil amelioration as well as seedling protection in the dry farming regions of Inner Mongolia Loess Plateau, a field experiment with (0(CK), and 6 000(D1), 12 000(D2), 18 000(D3), 24 000(D4) and 30 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (D5)) of bentonite was applied. After one-time application in 2011, the effects of application rates on oat seeding characterization and soil moisture content, microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen and soil enzyme activity were examined in 2012—2015. The results showed that one-time application can improve the emergence rate, in 2012, D2 and D3 were higher than that of control with 11.41% and 8.93% respectively; in 2013, D3 and D4 were higher than that of control with 8.39%, 5.56% respectively; performance in 2014, D4 and D5 compared with the control improved (increased) to 10.25% and 8.32% respectively; in 2015 D4 and D5, were 8.71%, 7.48% respectively higher than the control. One-time application of bentonite raised soil water content in the soil profile (0~100 cm), with the most significant increase of 1.21%~40.76% at the 10~20 cm layer. Compared to the CK treatment, bentonite increased soil microbial biomass carbon (2.92%~31.42%), nitrogen (5.05%~47.15%), catalase (4.75%~45.89%), invertase (2.73%~49.91%), urease (6.67%~70.00%) in the top 10 cm soil. It was concluded that the application of bentonite can obviously im-

收稿日期: 2016-06-29

修回日期: 2016-09-28

基金项目: 国家科技计划课题(2015BAD22B04-02); 国家自然科学基金项目(31160276); 内蒙古自治区“草原英才”创新团队—“燕麦种质资源创新与利用创新人才团队”; 内蒙古自治区科技创新团队—“内蒙古自治区燕麦种质资源创新与利用科技创新团队”; 全国农业科研杰出人才及其创新团队—“燕麦种质资源创新与利用科技创新团队”

作者简介: 孙梦媛(1992—), 女, 河南伊川人, 硕士研究生, 主要从事耕作制度与农业生态系统研究。E-mail: 13789411831@163.com。

通信作者: 刘景辉(1965—), 男, 内蒙古奈曼旗人, 教授, 博士生导师, 主要从事耕作制度与农业生态系统研究。E-mail: cauqh@163.com。

prove soil water retention, water holding capacity and soil biological traits in the plough layer during the oat seedling growth period. With time, the long-lasting effect of higher application rates of bentonite became more evident.

Keywords: bentonite; rate of emergence; soil moisture content; biological characteristics

燕麦作为一种优质的粮饲兼用作物,籽粒中富含蛋白质、脂肪、膳食纤维等营养物质,是具有较大市场潜力的保健性粮食作物。内蒙古燕麦栽培面积约占全国的 40%,居全国各省市首位^[1],但内蒙古燕麦主产区由于干旱缺水、土壤保水差和土壤贫瘠造成燕麦低产而不稳,尤其出苗难、保苗难是限制燕麦单产提高的主要原因,提高苗期土壤含水量与保水性是提高燕麦单产的重要措施。土壤改良剂具有改良土壤、保水保肥的明显效果,吸水性强,加入土壤后能提高土壤对灌水及降水的吸收能力,提高土壤的吸水速度,而且能缓慢释放出大部分水,使其成为作物吸收利用的有效水^[2-3]。由于膨润土具有较强的吸水性、膨胀性、吸附性、分散性、粘着性、保水保肥性等一系列优良理化性质,是较好的土壤改良剂^[4]。李吉进等^[5]研究发现膨润土用量在土重的 0%~5% 范围内,随着用量增加,保氮能力增强,明显促进植株出苗。马友华、栾文楼^[6]研究发现膨润土施入土壤后,能够提高土壤肥力,减少农田灌水用量,增加作物产量;在贫瘠沙质土壤上施用膨润土,可改善土壤的物理化学性质、防止养分流失、改善水分状况^[7]。膨润土可以提高土壤持水性能,减少土壤水分无效蒸发,增加土壤水分利用率^[8]。Heijnen 等^[9-10]通过在沙土中加入膨润土培养豆科根瘤菌,结果发现加入膨润土后根瘤菌存活率提高,膨润土为细菌的生产创造了保护性的小环境。我国膨润土

矿产资源丰富,目前累计探明储量在 50.87 亿 t,资源量已超过 80 亿 t,总储量占世界第 1 位,而内蒙古膨润土储量占全国总量的 9%,位于全国各省区第 3 位^[11]。说明我国开发利用膨润土提高旱作区抗旱保水保苗和作物单产潜力巨大。有关膨润土不同施入量对土壤含水量、土壤微生物生物量和酶活性的影响,特别是对施用膨润土的长效性研究报道较少。本文旨在通过田间定位试验,研究施用膨润土对燕麦出苗率、苗期土壤含水量、土壤微生物生物量碳、氮和土壤酶活性的影响及其长效性,以为应用膨润土抗旱保水保苗、改良土壤和提高燕麦单产提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在内蒙古清水河县进行,该地区为典型黄土高原沟壑区,旱坡地占 90% 以上,平均海拔 1 374 m。年平均气温 7.1℃,≥10℃ 积温 2 370℃,无霜期 140 d,年日照时数为 2 914 h,年平均大风日数达 19 d,年总辐射量 570.6 kJ·cm⁻²,降雨主要集中在 6 月和 7 月,春旱尤为严重,年均降雨量 365 mm,年蒸发量 2 577 mm,属典型的中温带半干旱大陆性季风气候。试验地土壤类型为黄绵土,具体肥力状况见表 1。

表 1 试验地土壤肥力基本状况

Table 1 Soil physical and chemical characteristics of the experimental field in 2011

有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	全氮/(g·kg ⁻¹) Total nitrogen	全磷/(g·kg ⁻¹) Total phosphorus	碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Available nitrogen	速效磷/(mg·kg ⁻¹) Available phosphorus	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available potassium
10.96	0.49	0.43	37.10	6.55	118.9

1.2 试验材料

供试作物为燕麦坝莪 1 号,由内蒙古三岩实业有限公司提供。膨润土可吸附 8~15 倍于自身体积的水量,体积膨胀倍数为 30 倍,体积质量为 0.68 g·cm⁻³,粒度为 200 目,主要成分蒙脱石,成分分析:SiO₂ 50.5%、Al₂O₃ 14.5%、MgO 5.0%、CaO 2.5%、Fe₂O₃ 1.0%、K₂O 0.5%。

1.3 试验设计

试验共设 5 个处理,采用随机区组设计(表 2),重复 3 次。小区面积 4 m×5 m=20 m²。试验于

2011 年播种前一次性施入膨润土后不再追加,于 2012—2015 年连续测定各项指标。膨润土施入方式为播种前将膨润土均匀撒施于各小区表面,进行旋耕,旋耕深度为 15 cm 左右,燕麦坝莪 1 号(生育期 95 d 左右)于 5 月 25 日播种,小区播量 150 kg·hm⁻²,行距 25 cm,施磷酸二铵 150 kg·hm⁻²,其它管理与当地田间管理相同。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 燕麦苗期测定指标及方法 出苗率的测定:出苗率测定以叶片露出表土 2 cm 为准,从出苗开始到出苗率稳定 3 d 后每天测定一次。

表 2 田间试验设计
Table 2 Experiment design in the field

处理 Treatment	CK	D1	D2	D3	D4	D5
施入膨润土量 /(kg·hm ⁻²)	0	6000	12000	18000	24000	30000
Bentonite application amount						

1.4.2 土壤质量含水量的测定 于 2012—2015 年 6 月 15 日左右燕麦苗期行间取样,用土钻取 0~100 cm 土层土样(0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm)分层取土,置于铝盒中,采用烘干法测定土壤质量含水量。

1.4.3 土壤微生物量的测定指标及方法 于 2012—2015 年燕麦苗期行间取样,用土钻随机钻取 0~10、10~20、20~40 cm 和 40~60 cm 土层土壤样品进行土壤微生物量各指标的测定:土壤微生物量碳采用熏蒸提取-容量分析法,土壤微生物量氮采用熏蒸提取-茚三酮比色法^[12]。

1.4.4 土壤酶活性的测定指标及方法 于 2012—2015 年燕麦苗期行间取样,用土钻随机钻取 0~10、10~20、20~40 cm 和 40~60 cm 土层土壤样品进行土壤酶活性各指标的测定:脲酶活性采用靛酚比色法,过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法,蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[13]。

1.5 数据统计与分析

应用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理和绘图,采用 SAS 9.0 统计分析软件对数据进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 试验地降雨情况分析

分析试验地近 6 年降雨情况可知,当地 5—9 月降雨量呈单峰曲线变化,年际间降雨量分布不均且波动性较大。全年降雨量主要集中在 7、8 月,播种前及苗期 4、5 月份降雨量较少。2012—2015 年,燕麦播期为 5 月 25 日左右,由表 3 可知,5 月份降雨量较少,降雨时空分布不均,容易导致播期、苗期土壤干旱缺水,燕麦出苗困难。

2.2 膨润土对燕麦苗期土壤含水量的影响

图 1 显示了膨润土对燕麦苗期土壤含水量影响的垂直变化。膨润土对不同土层土壤含水量的影响存在明显差异,总体表现为随着土层深度增加不同处理间的土壤含水量大小及差异均呈先增加后降低趋势,在 10~20 cm 土层达到峰值。施用膨润土能

提高 0~100 cm 土层土壤含水量,各处理(D1、D2、D3、D4、D5)与对照相比 2012 年分别增加了 18.96%、30.62%、24.44%、12.15%、5.33%;2013 年分别提高 5.26%、10.98%、25.24%、20.56%、15.54%;2014 年分别提高 5.48%、11.44%、15.70%、24.42%、19.16%;2015 年分别提高 8.77%、4.76%、14.94%、18.57%、23.24%。

表 3 2010—2015 年试验地 5—9 月降雨量/mm
Table 3 Distribution of 2010—2015 experimental field
May—September rainfall

月份 Month	年份 Year					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
5 月 May	53.3	16.0	26.1	23.8	35.3	27.5
6 月 June	40.3	22.2	60.7	80.1	78.5	54.3
7 月 July	37.7	25.6	144.4	213.8	77.9	35.0
8 月 August	63.5	83.0	55.1	53.6	106.5	26.7
9 月 September	12.6	32.0	49.6	28.5	91.3	106.2

综合连续 4 年结果可知,在施入后的 4 年内不同施用量膨润土均具有保水作用,具有一定的长效性,处理 D1、D2 在施用后的第 1 年效果优于第 2 年、第 3 年和第 4 年,而处理 D3、D4、D5 在施用后的第 2 年、第 3 年和第 4 年的效果优于第 1 年,原因可能是 D1、D2 膨润土施用量小、自身分解,随时间增长其吸水能力减弱,D3、D4 更有利于土壤水分吸收、转移、蓄积。土壤施用膨润土后可以减缓水分向深层次转移,不仅能将水分保蓄在耕层,还能够减少水分深层次的渗漏,从而提高土壤保水能力。

2.3 膨润土对燕麦出苗率的影响

由图 2 可知,2012 年燕麦出苗时间范围在 6 月 1 日—6 月 8 日之间,各处理间出苗率大小总体表现为:各处理均高于 CK,且 D2、D3 最佳,较对照提高 11.41%、8.93%。2013 年燕麦出苗时间范围在 6 月 3 日—6 月 10 日之间,各处理尤以 D3 最佳,较对照提高 8.39%。2014 年燕麦出苗时间范围在 6 月 1 日—6 月 8 日之间,各处理间出苗率以 D4、D5 最高,较对照提高 10.25%、8.32%。2015 年燕麦出苗时间范围在 6 月 4 日—6 月 11 日之间,各处理以 D4 出苗率最高,较对照提高 8.71%。分析 4 年出苗率,在 7~8 d 内出苗稳定,膨润土可以促进燕麦提前出苗,以 D3 和 D4 效果最佳。施用膨润土,具有一定保水作用,进一步提高了土壤墒情,改善了土壤微生态环境,为燕麦出苗创造了良好的土壤微环境。

2.4 膨润土对土壤酶活性的影响

土壤酶参与土壤的许多重要的生物化学过程和物质循环,是土壤中活跃的有机成分之一,在土壤养

分循环以及植物生长所需养分的供给过程中起到重要的作用^[14-15]。

2.4.1 膨润土对土壤过氧化氢酶活性的影响 土壤过氧化氢酶能酶促水解过氧化氢,也能表征土壤腐殖化强度,可以用来表征土壤的生化活性。土壤过氧化氢酶活性与土壤有机质含量有关,并随土层深度加深而减弱^[16]。由表 4 可知,施用膨润土明显增加了 0~60 cm 土层的土壤蔗糖酶活性,2012—2015 年土壤过氧化氢酶活性总体表现为随土层深度增加而降低趋势。2012 年 D2 处理显著高于其它处理,较对照平均提高了 35.14%;2013 年各处理以 D3 效果最佳,较对照平均提高了 23.90%;2014 年以 D4 效果最好,较对照平均提高了 28.38%;2015 年以 D4、D5 表现较好,分别较对照提高了 25.19%、33.24%;可知 4 年平均效应以 D3 和 D4 效果最好,为膨润土长期改良土壤提供理论依据。从方差分析结果看,2012—2015 年各处理过氧化氢酶活性均极显著或显著高于对照,随施用年限增加,施用量大的处理与对照差异越明显,相反施用量小的与对照之

间差异逐渐缩小。

2.4.2 膨润土对土壤蔗糖酶活性的影响 土壤蔗糖酶是参与土壤有机碳循环的关键酶,是土壤中活跃的有机成分之一。由表 5 可知,施用膨润土显著地增加了 0~60 cm 不同土层的土壤蔗糖酶活性,在 2012—2015 年,随土层深度增加各处理的土壤蔗糖酶活性均呈降低趋势,0~10、10~20 cm 土层土壤蔗糖酶活性极显著高于 20~40、40~60 cm 土层;2012 年以 D2、D3 处理表现最佳,0~60 cm 土层平均较对照分别增加了 44.77%、37.46%;2013 年以 D3、D4 处理效果最佳,较对照分别增加了 54.22%、43.14%;2014 年 D4 处理极显著高于其它处理,较对照增加了 39.99%;2015 年 D4、D5 处理显著高于其它,分别较对照增加了 30.54%、39.01%。可见,膨润土在施用后 4 年内均能显著提高土壤蔗糖酶活性,但不同年份与施用量效果表现不同,施用第 1 年、第 2 年以处理 D1、D2、D3 的效果好,第 3 年、第 4 年以处理 D4、D5 效果更佳。

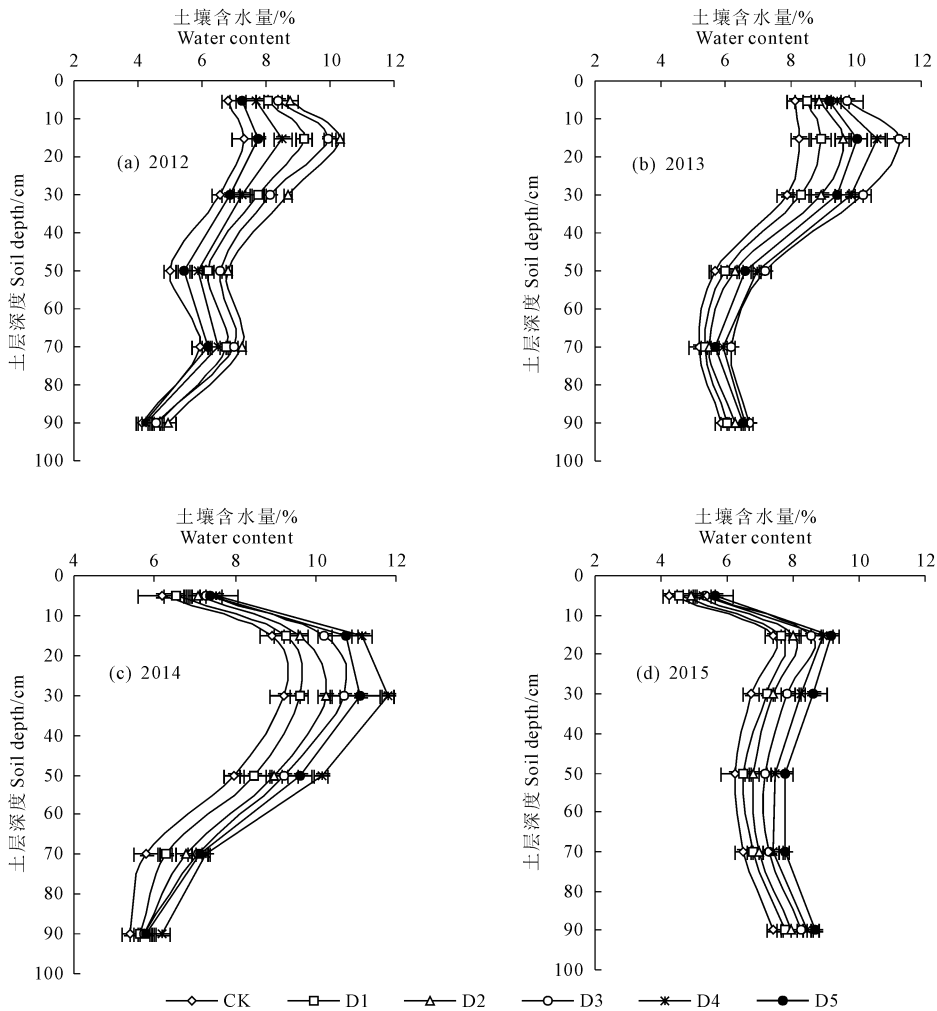


图 1 膨润土对燕麦苗期 0~100 cm 土层土壤含水量的影响

Fig.1 Effect of bentonite application on soil water content in the 0~100 cm soil layer during the oat seedling stage

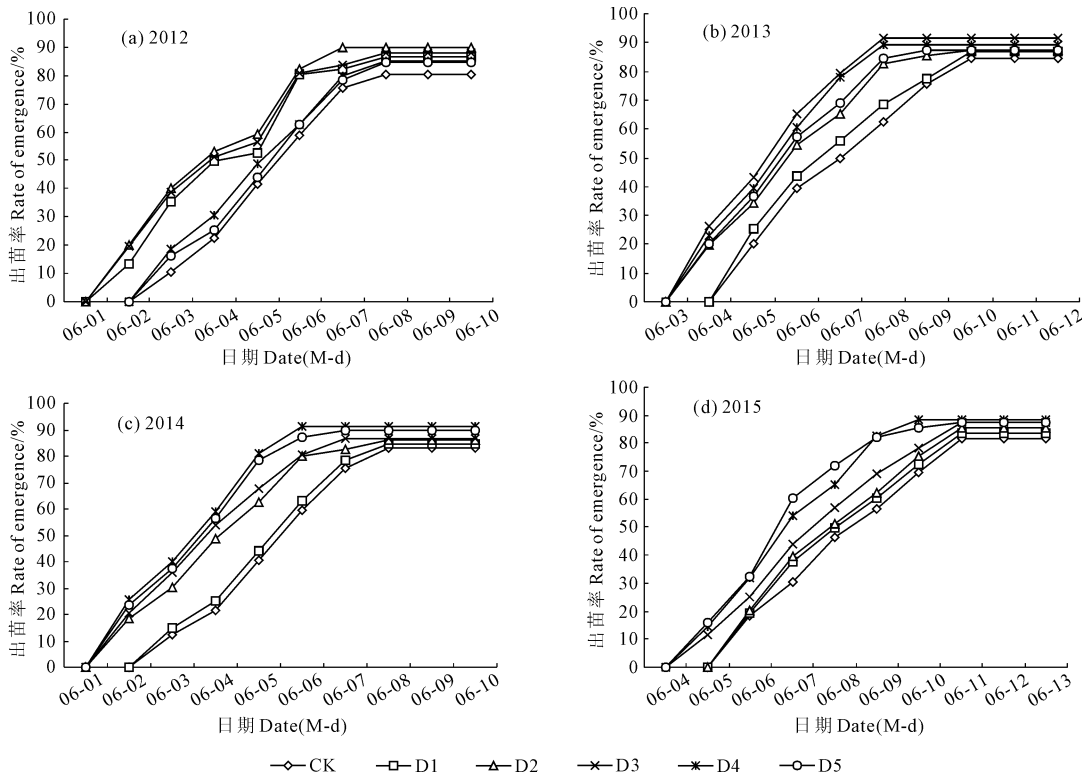


图 2 膨润土对燕麦出苗进程的影响

Fig.2 Effect of bentonite application on the emergence process of oat

表 4 不同施用量膨润土处理对 2012—2015 年土壤过氧化氢酶活性的影响/($\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 30\text{min}^{-1}$)
Table 4 Effect of different bentonite treatments on soil catalase activity during oat seedling stage in 2012—2015

年份 Year	处理 Treatment	土层深度 Soil depth/cm			
		0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60
2012	CK	16.94Ff	16.64Ff	16.04Ef	15.20De
	D1	21.69Cc	21.18Cc	19.17Cc	17.13BCc
	D2	24.68Aa	23.65Aa	20.78Aa	18.49Aa
	D3	23.30Bb	22.20Bb	20.03Bb	17.81ABb
	D4	19.87Dd	19.38Dd	17.77Dc	16.52Cd
	D5	18.50Ee	18.12Ee	17.21De	15.60De
2013	CK	21.47Ff	21.17Ff	20.06Ef	18.08Cc
	D1	22.49Ee	22.40Ee	21.06De	18.43Cc
	D2	23.97Dd	23.63Dd	22.06Cd	19.78Bb
	D3	27.51Aa	26.67Aa	24.10Aa	21.82Aa
	D4	26.38Bb	25.74Bb	23.43ABb	21.18Aa
	D5	24.76Cc	24.58Cc	22.80BCc	20.10Bb
2014	CK	17.06Ff	16.76Ff	15.92Ee	15.08Dd
	D1	18.41Ee	17.46Ee	17.13Dd	15.30Dd
	D2	19.59Dd	18.29Dd	17.79Cc	16.34Cc
	D3	20.17Cc	19.37Cc	18.64Bb	16.78BCc
	D4	23.28Aa	22.25Aa	19.57Aa	18.12Aa
	D5	21.24Bb	20.67Bb	18.81Bb	17.40ABb
2015	CK	13.40Ee	13.82Ff	11.16Ff	11.06Ed
	D1	14.38Dd	15.08Ee	11.90Ee	11.60Dc
	D2	14.63Dd	15.70Dd	12.82Dd	11.93CDc
	D3	15.64Cc	16.60Cc	13.80Cc	12.31BCb
	D4	16.81Bb	17.50Bb	15.01Bb	12.57Bb
	D5	18.01Aa	18.66Aa	15.80Aa	13.39Aa

注:表中同一年份不同土层处理间相同大写字母或相同小写字母表示在 0.01 或 0.05 水平上差异不显著。下同。
Note: Mean in the same year and same soil layer followed by the same capital letters or lowercase letters are not significantly different ($P > 0.01$ or $P > 0.05$) according to a protected LSD test. The same below.

表 5 不同施用量膨润土处理对 2012—2015 年土壤蔗糖酶活性的影响/(mg·g⁻¹·24h⁻¹)
Table 5 Effect of different bentonite treatments on soil invertase activity during oat seedling stage in 2012—2015

年份 Year	处理 Treatment	土层深度 Soil depth/cm			
		0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60
2012	CK	26.79Ff	23.39Ff	9.33Dd	6.83De
	D1	31.62Cc	30.80Cc	13.13ABb	9.61Bb
	D2	35.03Aa	34.11Aa	14.60Aa	10.43Aa
	D3	32.71Bb	32.34Bb	14.34Aa	10.07ABa
	D4	29.79Dd	28.96Dd	12.20BCb	8.30Cc
	D5	28.04Ee	25.69Ee	10.83CDc	7.82Cd
2013	CK	16.59Ff	13.19Ff	8.02De	5.52De
	D1	18.51Ee	14.38Ee	9.01CDd	5.89Dd
	D2	20.47Dd	15.80Dd	10.33BCc	6.68Cc
	D3	24.87Aa	20.46Aa	12.62Aa	8.17Aa
	D4	23.53Bb	18.71Bb	11.67ABab	7.95Aa
	D5	21.74Cc	17.26Cc	10.70Bbc	7.40Bb
2014	CK	27.00Ee	23.60Ee	9.45Ff	6.96Dd
	D1	29.98Dd	25.40Dd	10.71Ee	7.08Dd
	D2	32.68Cc	28.20Cc	12.42Dd	8.21Cc
	D3	33.57Bb	29.68Bb	13.18Cc	9.26Bb
	D4	35.50Aa	32.70Aa	15.03Aa	10.21Aa
	D5	33.91Bb	30.10Bb	14.27Bb	9.75ABab
2015	CK	20.48Ff	18.58Ef	6.20Ff	5.46Cd
	D1	21.04Ee	19.28Ee	7.13Ee	5.83Cd
	D2	22.61Dd	20.18Dd	8.19Dd	6.81Bc
	D3	23.92Cc	21.79Cc	8.92Cc	7.28ABb
	D4	25.79Bb	23.20Bb	9.47Bb	7.73Aa
	D5	27.02Aa	25.31Aa	10.20Aa	7.85Aa

2.4.3 膨润土处理对土壤脲酶活性的影响 土壤脲酶直接参与尿素形态转化,并在所有参与土壤 N 循环的酶中,作用最为突出^[17],是土壤中氮素转化的关键酶,能催化尿素水解成氨,是评价土壤肥力的重要指标。由表 6 可知,在 2012—2015 年,施用膨润土显著提高了 0~60 cm 土层的土壤脲酶活性,随土层深度增加土壤脲酶活性均呈单峰曲线变化,10~20 cm 活性最大。各处理 4 年 0~60 cm 土层平均较对照增加了 11.73%、24.37%、34.43%、34.48%、30.03%,可知 4 年平均效应以 D3 和 D4 效果最佳,为合理施用膨润土提供理论依据。膨润土施用后的 4 年内均能具有提高土壤脲酶活性的作用,但随着施用年限增加施用量大的处理效果更好。

2.5 膨润土对土壤微生物量碳、氮的影响

2.5.1 膨润土对土壤微生物量碳的影响 施用膨润土对 2012—2015 年土壤微生物量碳垂直变化的影响如图 3,膨润土能极显著地影响不同土层深度的土壤微生物量碳,随着土层深度增加均呈 V 字型变化,0~10 cm 土层活性最高,20~40 cm 土层活性最低。原因不仅与土壤表层透气性优于其它土层,而且与土壤含水量有关。高云超等^[18]研究表明土壤微生物量与水分密切相关。以 0~10 cm 为例,与对照相比 2012 年增加了 9.24%~31.42%;2013 年

增加了 4.33%~31.49%;2014 年增加了 2.92%~28.30%;2015 年增加了 4.91%~26.70%。可见,膨润土在施用后的 4 年内均能起到促进土壤微生物量碳含量提高的作用,随着施用年限增加施用量大的处理效果更大。

2.5.2 膨润土对土壤微生物量氮的影响 土壤微生物量氮随土层深度增加均呈降低趋势(图 4),在 2012 年 D1、D2、D3、D4 和 D5 不同处理较对照分别增加了 12.94%~22.19%、20.77%~32.25%、17.50%~26.92%、7.68%~13.46%、3.13%~9.20%,其中 D2 和 D3 极显著高于对照;2013 年各处理较对照分别增加了 4.09%~15.52%、11.84%~23.83%、33.33%~46.57%、28.65%~36.82%、19.37%~29.96%,其中 D3 和 D4 极显著高于对照;2014 年各处理较对照分别增加了 10.35%~21.21%、19.86%~32.35%、28.81%~36.53%、34.13%~41.29%、43.92%~47.16%,其中 D2、D3、D4 和 D5 极显著高于对照;2015 年各处理较对照分别增加了 5.20%~19.44%、15.48%~32.13%、21.64%~35.48%、33.01%~49.82%、26.85%~47.80%,其中 D2、D3、D4 和 D5 极显著高于对照。由此可知,施用膨润土在提高土壤水分的同时,也改善了土壤的微生态环境,起到促进土壤微生物量氮含量提高的作用。

3 结论与讨论

3.1 讨 论

秋施、春施沙质土壤改良剂均能促进作物提前出苗 1~2 d,且可提高作物出苗率,促进苗期幼苗的

生长^[19]。保水材料均能提高玉米出苗率,缩短出苗时间,利于玉米实现苗齐、苗匀和苗壮^[20]。本研究结果与前人一致,但本文主要侧重对不同施用量的长效性分析,筛选出该地区土壤类型下最佳施入量 D3 处理(18 000 kg·hm⁻²)和 D4 处理(24 000 kg·hm⁻²)。

表 6 不同施用量膨润土处理对 2012—2015 年土壤脲酶活性的影响/(mg·g⁻¹·24h⁻¹)

Table 6 Effect of different bentonite treatments on soil urease activity during oat seedling stage in 2012—2015

年份 Year	处理 Treatment	土层深度 Soil depth/cm			
		0~10	10~20	20~40	40~60
2012	CK	0.49De	0.57Dd	0.51Cd	0.40Cd
	D1	0.60BCc	0.74ABCbc	0.65ABCbc	0.49ABCbc
	D2	0.71Aa	0.87Aa	0.76Aa	0.57Aa
	D3	0.65ABb	0.80ABab	0.70ABab	0.53ABab
	D4	0.56CDcd	0.68BCDcd	0.60BCcd	0.46BCbcd
	D5	0.53CDde	0.64CDcd	0.55Ccd	0.42Ccd
2013	CK	0.75Ee	0.79De	0.71Ab	0.55Cd
	D1	0.80DEde	0.88CDde	0.76Ab	0.60BCd
	D2	0.88CDcd	0.95BCDcd	0.83Aab	0.65BCcd
	D3	1.08Aa	1.20Aa	0.90Aa	0.84Aa
	D4	1.02ABab	1.11ABab	0.90Aa	0.81Aab
	D5	0.95BCbc	1.04ABCbc	0.85Aab	0.72ABbc
2014	CK	0.51Ee	0.59De	0.52De	0.41Dd
	D1	0.57DEd	0.64CDde	0.56CDde	0.43CDcd
	D2	0.62CDcd	0.69BCDcd	0.62BCDcd	0.47BCDbc
	D3	0.67BCbc	0.75ABCbc	0.67ABCbc	0.50ABCab
	D4	0.75Aa	0.86Aa	0.77Aa	0.54Aa
	D5	0.70ABab	0.80ABab	0.72ABab	0.51ABab
2015	CK	0.70De	1.28Cd	0.35Dd	0.27Dd
	D1	0.78CDde	1.30Ccd	0.41CDd	0.31CDe
	D2	0.88Ccd	1.41BCbc	0.48BCc	0.33Cbc
	D3	1.01Bbc	1.49ABab	0.51ABbc	0.36BCb
	D4	1.12ABab	1.54ABa	0.55ABab	0.40ABa
	D5	1.19Aa	1.59Aa	0.60Aa	0.43Aa

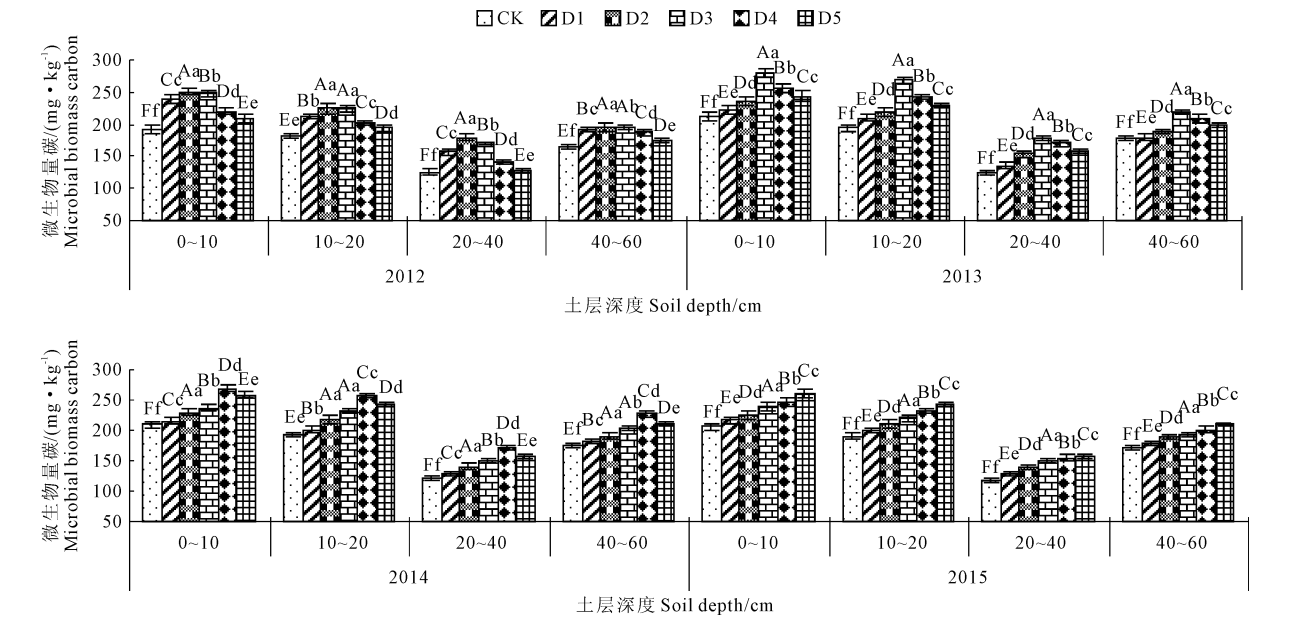


图 3 不同施用量膨润土对 2012—2015 年燕麦苗期土壤微生物量碳的影响

Fig.3 Effect of different bentonite treatments on oat seedling soil microbial biomass carbon in 2012—2015

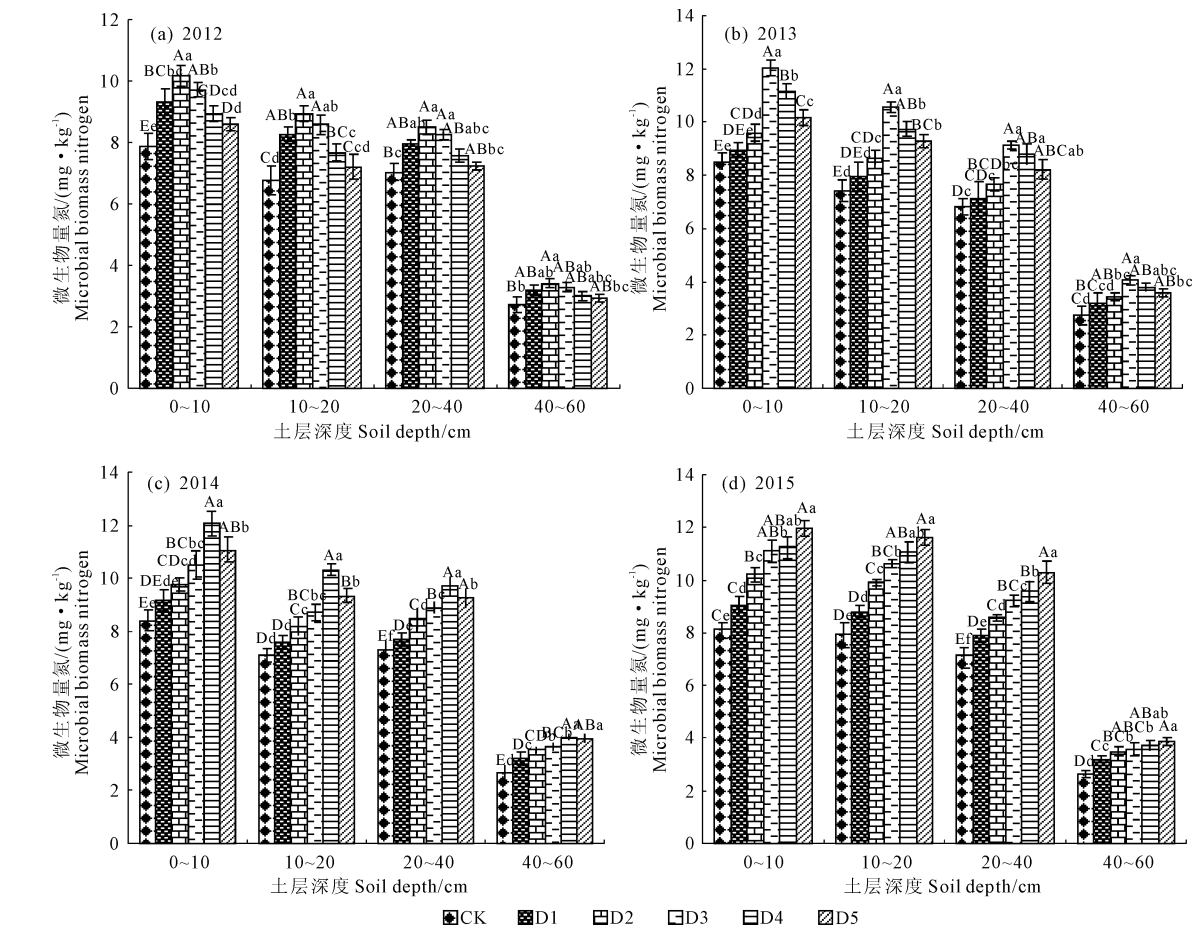


图 4 不同施用量膨润土对 2012—2015 年燕麦苗期土壤微生物量氮的影响

Fig.4 Effect of different bentonite treatments on soil microbial biomass nitrogen during oat seedling stage in 2012—2015

李吉进等^[21]研究表明,膨润土可以提高土壤持水性能。杨彦明等^[22]和刘慧军等^[23]研究表明膨润土可显著降低土壤耕层水分蒸发量、增加作物播前及苗期土壤含水量。本研究表明,膨润土可提高燕麦苗期 0~100 cm 土层土壤含水量,对施入层(0~20 cm)、近施入层(20~60 cm)和远施入层(60~100 cm)土壤水分均有影响,但以施入层效果最佳。胡丽华^[24]在棉花田上研究表明,当年施用膨润土的保水性能不仅受自身结构影响,而且还与施入量有关,本研究进一步证明随着膨润土施用后年限的增加施用量大的处理影响效果显著,而施用量小的与对照差异越来越小。4 年研究结果表明,以 D3(18 000 kg·hm⁻²)和 D4(24 000 kg·hm⁻²)施用量的对土壤含水量影响最大。

白世红等^[25]和孙建等^[26]研究得出土壤微生物量和土壤酶活性随土层深度增加均呈降低趋势。本研究表明,土壤微生物量碳氮、过氧化氢酶和蔗糖酶活性随着土层加深均呈降低趋势,而脲酶活性则是随着土层深度增加呈先升后降的趋势,以 10~20 cm 土层最高。这可能是膨润土能够很好地保持土壤中

的氮素养分,明显减少氮素养分的淋溶损失,使土壤对作物供应养分增多,保氮能力增强,土壤中脲酶活性的高低与土壤中营养物质的转化能力和肥力水平等密切相关,是土壤中参与氮素转化过程的关键酶类,其活性可表征土壤氮素供应以及衡量土壤氮素养分状况^[5,27]。

3.2 结 论

膨润土不仅能够提高燕麦苗期 0~100 cm 土层土壤含水量,其中尤以 10~20 cm 土层的效果最明显,而且能改善 0~60 cm 土层土壤微生物量碳、氮、过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶;同时具有保苗作用,能够提高燕麦出苗率,缩短出苗时间 1~2 d;且改良土壤具有一定的长效性,随着年限的增加,施用量大的效果更明显,而施用量小的效果与之相反。综合看,以 18 000 kg·hm⁻²(D3)和 24 000 kg·hm⁻²(D4)改良土壤效果最佳。

参 考 文 献:

[1] 赵宝平,庞云,曾昭海,等.有限灌溉对燕麦产量和水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):105-115.

[2] 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.

[3] 李云开,杨培岭,刘洪禄.保水剂农业应用及其效应研究进展[J].农业工程学报,2002,18(2):182-187.

[4] Jenkinson D D. The effects of plant cover and soil type on the loss of C from ¹⁴C Labelled ryegrass decomposing under field conditions[J]. Soil Sci,1977,28(3):424-434.

[5] 李吉进,邹国元,王美菊,等.膨润土保氮增产效果研究[J].中国土壤与肥料,2006,(3):27-30.

[6] 刘海忠,栾文楼.膨润土固氮机理及膨润土碳铵对土壤养分的影响[J].河北农业科学,2003,7(4):21-24.

[7] 马毅杰.膨润土资源性质及其利用[J].土壤学进展,1994,22(2):21-28.

[8] 易杰祥,刘国道,孙水芬,等.膨润土的土壤改良效果及其对作物生长的影响[J].安徽农业科学,2006,34(10):2209-2212.

[9] Heijnen C E, Hok - A - Hin C H, Veen J A. Improvements to the use of bentonite clay as a protective agent,increasing survival levels of bacteria introduced into soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1992, 24(6):533-538.

[10] Heijnen C E, Hok - A - Hin C H, Veen J A. Protection of Rhizobium by bentonite clay against predation by flagellates in liquid cultures [J]. FEMS Microbiology Letters, 1991,85(1):65-71.

[11] 彭杨伟,孙燕.国内外膨润土的资源特点及市场现状[J].金属矿山,2012,41(4):95-99.

[12] 吴金水.土壤微生物生物量的测定方法及应用[M].北京:气象出版社,2006:54-79.

[13] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:274-323.

[14] 王光华,金 剑,韩晓增,等.不同土地管理方式对黑土土壤微生物量碳和酶活性的影响[J].应用生态学报,2007,18(6):1275-1280.

[15] 焦 婷,常根柱,周学辉,等.高寒草甸草场不同载畜量下土壤酶与土壤肥力的关系研究[J].草业学报,2009,18(6):98-104.

[16] 周礼恺.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987:201-204.

[17] Koch H J, Stockfisch N. Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage[J]. Soil & Tillage Res, 2006,86(1):73-83.

[18] 高云超,朱文珊,陈文新.秸秆覆盖免耕土壤微生物生物量与养分转化的研究[J].中国农业科学,1994,27(6):41-49.

[19] 苏雪萍,刘景辉,李立军,等.春秋施沙质土壤改良剂对旱作玉米抗旱保苗增产效应[J].中国农学通报,2014,30(15):201-206.

[20] 田 露,李立军,郭晓霞,等.不同保水材料对内蒙古黄土高原旱作玉米幼苗生长及土壤贮水特性的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(5):54-60.

[21] 李吉进,徐秋明,倪小会.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.

[22] 杨彦明,刘景辉,李立军,等.膨润土对土壤含水量及蒸发特性和燕麦产量的影响[J].麦类作物学报,2014,34(8):1118-1125.

[23] 刘慧军,刘景辉,徐胜涛,等.沙地改良剂对土壤水分及燕麦产量和品质的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):174-179.

[24] 胡丽华.棉花施用膨润土的效应与技术[J].江西棉花,1995,(3):10-12.

[25] 白世红,马风云,李树生,等.黄河三角洲不同退化程度人工刺槐林土壤酶活性、养分和微生物相关性研究[J].中国生态农业学报,2012,20(11):1478-1483.

[26] 孙 建,刘 苗,李立军,等.不同耕作方式对内蒙古旱作农田土壤微生物量和作物指标的影响[J].生态学杂志,2009,28(11):2279-2285.

[27] 李阜棣,喻子牛,何绍江.农业微生物实验技术[M].北京:中国农业出版社,1996.

(上接第 7 页)

[24] Whitworth J L, Mauromoustakos A, Smith M W. A nondestructive method for estimation of leaf area in pecan[J]. HortScience, 1992, 27(7):851-851.

[25] NeSmith D S. Nondestructive leaf area estimation of rabbiteye blueberries[J]. HortScience, 1991,26(10):1332-1332.

[26] Nakamura S, Nitta Y, Watanabe M, et al. Analysis of leaflet shape and area for improvement of leaf area estimation method for sago palm (Metroxylon sagu Rottb.) [J]. Plant production science, 2005, 8(1):27-31.

[27] Lu H Y, Lu C T, Wei M L, et al. Comparison of different models for nondestructive leaf area estimation in taro[J]. Agronomy Journal, 2004,96(2):448-453.

[28] Tsialtas J, Maslaris N. Leaf shape and its relationship with Leaf Area Index in a sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivar[J]. Photosynthetica, 2007,45(4):527-532.

[29] Tsialtas J, Maslaris N. Leaf area prediction model for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars[J]. Photosynthetica,2008,46(2):291-293.

[30] Ю. А. Лавренко, 于增彦.小麦叶面积快速测定法[J].麦类作物学报,1983,(2):31-32.

[31] 常 鑫,李法计,张兆萍,等.小麦旗叶长、宽及面积的 QTL 分析[J].西北植物学报,2014,34(5):896-901.

[32] 何贤芳,赵 莉,朱昭进,等.小麦株型性状与产量性状及生物学产量关系的初步研究[J].园艺与种苗,2011,(4):6-10.

[33] 谢 琰.氮肥和密度对不同穗型小麦穗粒数形成的影响[D].南京:南京农业大学,2012.

[34] 李丕珩.小麦叶面积测算方法商榷[J].农业科技通讯,1982,12:002.

[35] 王义芹,杨兴洪,李 滨,等.小麦叶面积及光合速率与产量关系的研究[J].华北农学报,2008,23(S2):10-15.

[36] 周始威,胡笑涛,王文娥,等.基于 RZWQM 模型的石羊河流域春小麦灌溉制度优化[J].农业工程学报,2016,32(6):121-129.

[37] Watson D J. The estimation of leaf area in field crops[J]. The Journal of Agricultural Science, 1937,27(3):474-483.

[38] Zadoks J C, Chang T T, Konzak C F. A decimal code for the growth stages of cereals[J]. Weed Res, 1974,14(6):415-421.

[39] 曹卫星.农业·作物学通论[M].北京:高等教育出版社,2001.