

黄土高原坡耕地小麦根系分布特征研究

农 淦, 路 培, 王林华, 吴发启

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:小麦是黄土高原陕西区坡耕地上的主要农作物,为了研究小麦根系整个生长期内在坡耕地上随土层和坡度的分布规律,以陕西杨凌农耕地种植的小麦根系为研究对象,在小麦 5 个生长期,采用挖土块法调查研究了 5 个坡度的坡耕地上 0—20 cm 层内冬小麦根系的分布特征。结果表明:(1) 小麦根系各生长期的根重密度、根长密度、根径与坡耕地土层深度和坡度变化都有一定的关系。(2) 小麦的根重密度在 0—5 cm 层最大,随土层深度减小。根重密度随生长期逐渐增大,成熟期达到最大值。当坡度为 10°时,生物量最大。(3) 根长密度在 0—5 cm 的最大,随土层深度增加而减小;拔节期达到最大值,随后逐渐减小。根长密度随坡度增加而增加,当坡度为 15°时达到最大值。(4) 小麦平均根径随土层深度增加而逐渐减少,拔节期达到最大值,随生长期逐渐减小。当坡度为 10°时,根系平均直径达到最大值。(5) SPSS 处理结果显示根重密度、根长密度、根径与土层深度有线性相关的关系。各根系指标与坡度和生长期也有线性回归关系。

关键词:根系分布; 冬小麦; 土壤侵蚀; 坡耕地

中图分类号: Q944. 54

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)05-0092-07

Study on Root Distribution of Winter Wheat on Slope Farmland on the Loess Plateau

NONG Gan, LU Pei, WANG Lin-hua, WU Fa-qi

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Winter wheat is the most important cover on slope farmland. In order to understand the root distribution of winter wheat at whole stages on slope cropland, the winter wheat root system was investigated on slope farmland. The root weight density, root length density, and diameter of root were measured on different slope farmland and different level of soil on slope farmland. The objective of the study is to confirm the distribution of winter wheat root system on slope land. The results showed that the root weight density, length density and diameter of root have main relationship with the soil depths and the slope on farmland. The the maximum value of root weight density was observed on 0—5 cm, and root weight density decreased as the soil layers getting deep. The weight system density also increased as the growth stages and would be up to the maximum value at maturity. The weight density also was the maximum on the slope of 10°. The root length density was the maximum value at 0—5 cm, decreased as the layer getting deep. The length density increased with the slope getting larger. The maximum value was on the slope of 15°. The average root diameter decreased as the soil layers. The maximum value was on the jointing stage, and declined with the growth stages. The maximum value was on the slope of 10°. The conclusion showed that soil layers had positive linear correlation with the root weight density, length density and diameter. And the slope and growing stage had the linear correlation with the root weight density, length density and diameter.

Key words: root distribution; winter wheat; soil erosion; slope farmland

小麦是黄土高原坡耕地主要的粮食作物之一,在农业生产中占有重要地位。目前,随着黄土高原地区

水土保持治理的进行,坡耕地面积逐渐减小,但坡耕地小麦作物仍占有比重,水土流失仍然是制约小麦生

收稿日期:2013-01-15

修回日期:2013-03-21

资助项目:国家“973”重点研究项目(2007CB407201-5);教育部高等学校特色专业建设项目(TS2A06)

作者简介:农淦(1987—),女,广西大新人,在读硕士,主要从事农作物土壤侵蚀研究。E-mail:xiqi32@sina.com

通信作者:吴发启(1957—),男,陕西黄陵人,博士,教授,博导,主要从事土壤侵蚀及流域管理研究。E-mail:wufaqi@263.net

产潜力的因素之一。因此研究和应用小麦水土保持效益,合理配置农田防蚀作物成为干旱及半干旱地区促进农作物高产并且抑制水土流失的主要任务。小麦根系是重要的功能性器官,不仅支撑地上部分的生长、吸收水分和营养成分,植物固土是植株地上部分与地下部分的共同作用^[1]。地上部分主要靠拦截雨滴来减少径流,效果取决于冠层的高度,连续性,植株密度和冠层密度^[2]。在植物生长早期地上部数量较少且柔弱,植物根系在增强土壤凝聚力,增加土壤入渗能力,减少侵蚀率的作用是十分关键的^[3]。唐克丽曾在对人为破坏草地的观测时提出天然草被由于落叶、枯落物的保护及根系的固土能力,基本上不产生径流,土壤侵蚀也基本上不发生^[4]。李勇等^[5]曾对黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性进行研究,结果表明,植物根系强化土壤抗冲性的能力主要取决于有效根密度在土壤剖面中的分布缠绕状况。以往的研究大多关注于草本植物和木本植物根系的分布状况,相反,对农作物的根系防蚀作用进行研究却很少。要研究小麦根系的防蚀作用,首先要确定小麦根系在坡耕地上的生长特征及分布特征。傅金民^[6]对大豆的田间试验和盆栽试验的结果表明,大豆整个植株和各个器官根部性状(包括根重)的最大周增长量比冠部器官来得早,根系的减缓整体也比冠部早。汪有科等研究认为,黄土高原地区灌木草本层年截留量占大气降水量的 1.8%~16%。但草灌减弱侵蚀动能还与其覆盖度密切相关。农作物的减弱侵蚀机理与灌木草本类似。但因农作物有其特殊的种植方式,覆盖度比草本植物要低^[7]。并且坡耕地较其他土地类型有其特别之处。坡耕地受人为因素影响很大,对于作物而言,当土壤中或土壤表面的作物根系和残茬存在时,土壤侵蚀就不易发生^[8-9]。吴发启等^[10]对坡耕地上耕作活动的影响研究表明黄土高原沟壑区人类恰当的耕作活动对坡耕地地表径流及由此产生的土壤流失有较好的控制作用。野外观测发现,小麦田

间发生的土壤侵蚀一般会出现在行间或田边。以往的研究不能很好地解释坡耕地总是在行间形成洼地,在田边形成细沟这些现象。并且很少有学者对农作物整个生育期根系发展做出全面的观测和分析。

为了解决以上问题,本文以黄土高原坡耕地小麦作物为研究对象,在空间尺度上按照纵向分层和分坡度取样,横向行间取样的方法,在时间尺度上选取小麦 5 个生长期,调查分析冬小麦根系近地面的生长特征,以及根系与坡度变化的关系,旨在揭示小麦在坡耕地上的生长特征,分析其影响坡耕地土壤侵蚀过程的原因,对今后为研究黄土高原地区坡耕地农作物降雨防蚀奠定基础,达到为防止水土流失效益提供依据的作用。

1 试验方法

1.1 研究区概况

本试验地位于陕西省咸阳市杨凌农业高新产业示范区,根据实验条件的客观分析在野外带坡度的农耕地上修建了采样小区。该区属渭河流域关中平原,海拔高度为 468 m,东经 107°59′—108°08′,北纬 34°14′—34°20′。属大陆性季风性半湿润气候类型区,年降雨量为 635~646 mm,年均蒸发量为 993 mm。常年平均气温 12.9℃,月平均气温 7 月为 26.1℃。土壤类型为关中地区典型的塿土,有机质含量较高,为经长期耕种和施用传统土粪逐渐形成的森林褐土,这里自古灌溉发达,盛产小麦,是我国重要的商品粮产区。本试验中耕层土壤有机质含量 5.0~15.0 g/kg,全氮 0.5~1.3 g/kg,碱解氮 23.0~80.0 mg/kg,速效磷 2.2~23.0 mg/kg,全钾 17.1~40.8 g/kg。杨凌的土壤质地孰重,其颗粒分布如表 1 所示^[11]。种植小麦作物之前,按 1 000 kg/hm² 的水平施有机肥料(腐熟羊粪和鸡粪)一次,并在用作产流、产沙试验的每茬作物播种前一日按 400 kg/hm² 水平施磷酸二铵一次。

表 1 试验地土壤颗粒组成

粒级/mm	1~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	0.005~0.001	<0.001
含量/%	0.4	8.6	44	13	22	12

1.2 材料

试验所用小麦为越年生的冬小麦,黄土高原地区的常用品种小偃 22 号,采用条播方式在选定的 5 个坡度的径流小区上行间种植(播种量为 130 kg/hm²),行距为 20 cm,于 2011 年 10 月播种,6 月下旬收获,种植小麦的径流小区均施用氮肥与磷肥。

1.3 根系指标的测定及计算

在野外选定无坡度耕地和 3°,5°,10°,15°,20°的

坡耕地,修建小区按 20 cm 行距种植冬小麦。在小区上分别于坡上、坡中、坡下行内选取三采样点,采样点如下图 1 所示,以此样点 S₁ 为中心半径 10 cm 画圆,行内获得交点 S₂,垂直行向获得交点 S₃。S₁ 为挖取整株采样点,以做对照,S₃ 为行间采样点。由于对土壤侵蚀造成影响的层次仅在土表附近,因此在小麦的行间采样点上分三层(0—5 cm,5—10 cm,10—20 cm),挖土块法取 10 cm×10 cm 的土体测定小麦行

间各层次间的根系指标。另在采样点 S_1 采集整株根系,测定其根系指标。将根系样品洗净阴干后测定各层次根系重量。每个层次分别挑选 30 条根系用游标卡尺测定其根系的长度及中点处直径,30 条根系长度的平均值 D 作为该层根系的平均根系长度,30 条根系的中点直径 作为该层的根系直径。

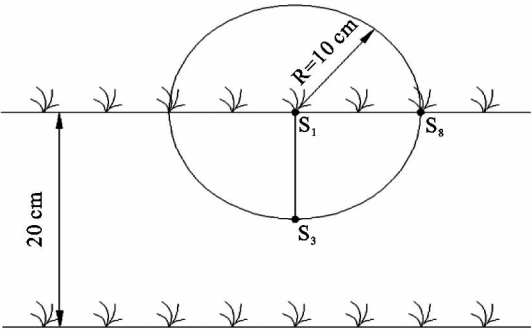


图 1 小麦根系分布实验采样示意图

根系各指标计算:依照公式(1)–(2)计算根长密度和根重密度。

$$RD_L = L_r / V_s \tag{1}$$

$$RD_w = W_d / V_s \tag{2}$$

式中: RD_L ——根长密度(cm/cm^3); RD_w ——根重密度(g/cm^3); L_r ——根系长度(cm); W_d ——根系干重(g); V_s ——土壤体积(cm^3)^[12]。利用 Excel 和 SPSS 进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 小麦根重密度在坡耕地土壤中的变化规律

小麦在土壤层中的形状呈扩散分布状,全部为须根,无主侧根之分,上下分布比较均匀,有由上往下根系逐层变少的趋势。

2.1.1 小麦根重密度随土层深度变化特征 在无坡度耕地上,将各土层进行比较,根重密度均随土层深度增加而逐级递减(图 1)。对比各生长期平均数,根重密度最大的土层为 0—5 cm,根重密度平均值为 $0.011\ 03\ \text{g}/\text{cm}^3$,且由平均根重密度(图 2)得出该层主要为根长较短的细根和毛根。表层土壤在冲刷下极易发生剥蚀,造成流失,根系可以有效固结土壤,减少这一现象的发生,在产生侵蚀时,植物自身会通过生长更多的根系来减少土壤流失,因此,植物根系在该层分布最多。各土层的根重密度均随着小麦的生长而不断增加,但增加的趋势不同。说明小麦根系逐渐向深层次推进。0—5 cm 层根重密度到成熟期增长即发生停止,而此时 5—10 cm 层的根重密度增加超过了 0—5 cm 层。一方面由于小麦冠层开始枯萎,

已不能保护小麦根系附近的表土,导致地表附近根系不断裸露而使得地表附近的水分与养分不足,不再适合根系生长,此时较深土层的根系仍能进行良好生长。另一方面由于土表环境发生变化,水土流失严重等原因,根系必须向下移动找到更好的养分与吸收环境。

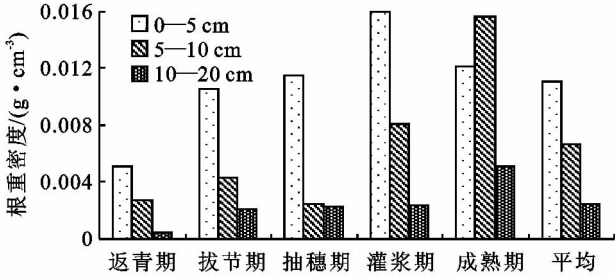


图 2 小麦无坡度影响下全生育期根重密度变化趋势

由冬小麦不同生长期数据显示,冬小麦返青期的根重密度较其他生长期要小,仅有 $3.38 \times 10^{-3}\ \text{g}/\text{cm}^3$,占根重密度最大的成熟期的 36.4%。虽然返青期根系还未发育完全,但是少量的根系也会对土壤表层的产流产沙产生抑制作用。小麦根系的生物量到小麦灌浆期随即不发生剧烈的增加,此时减水减沙效益也大。随后进入到成熟期后,由于生殖生长旺盛,且小麦成熟后,不仅冠层开始枯萎,根系也出现吸收减弱,并开始枯萎的现象,在此之后,小麦根重密度没有再增加,减水减沙效益也减小(图 2)。

2.1.2 小麦根重密度随坡度变化规律 由小麦不同生长期根重密度比较得出,10°坡的小麦根系根重密度值较大。小麦在成熟期的根重密度优势尤为突出,小麦成熟期的根重密度为 $1.066 \times 10^{-2}\ \text{g}/\text{cm}^3$,而各生长期平均值为 $6.36 \times 10^{-3}\ \text{g}/\text{cm}^3$;待小麦进入成熟期时,各坡度的小麦根重密度又逐渐趋向相同。由以上分析得小麦根系不仅在 10°坡上的根重密度达到最大值,并且在小麦整个生长期内,10°坡耕地冬小麦的根重密度也是最大的。对于同土层数据分析得出,小麦根系各层次的根重密度均存在 10°之前坡度越大,根重密度越大的特点,坡度为 10°之后,坡度越大,根重密度越小。这一特点与取样点也有密切关系。由于所选取的采样点为行间,行间的根系分布量小说明,由于坡度越大植物的横向分布越来越小,而在纵向分布上增加根系,以求在坡度较大的边坡上抓稳地面,这与在小麦株间根重密度取样结果是一致的(图 3)。小麦株间根重密度呈明显的随坡度增加逐渐增加的趋势。灌浆期小麦根重密度大,减水减沙效益也大,当小麦到达成熟期,根系活动减弱,以致成熟期小麦根重密度出现微弱减小,减水减沙效益变小。

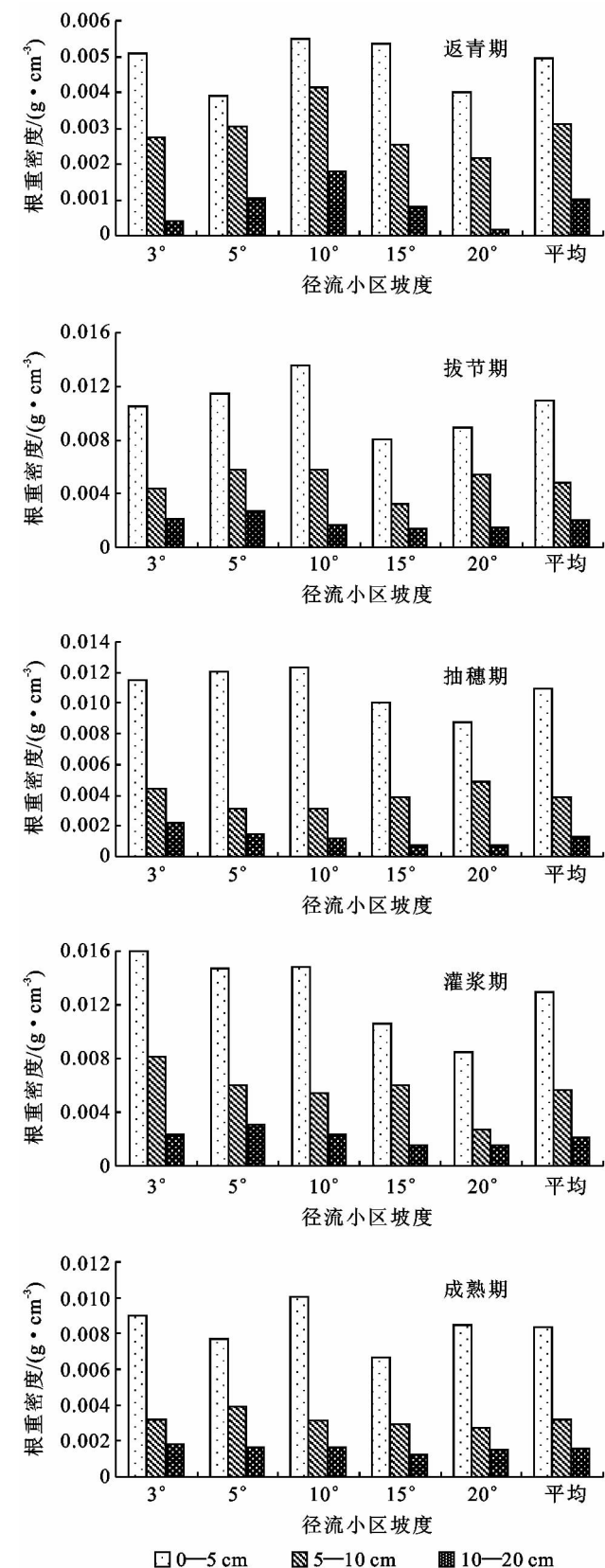


图 3 坡耕地行间冬小麦根重密度随坡度的变化趋势

2.2 冬小麦根长密度随土层深度变化规律

2.2.1 冬小麦根长密度在不同生育期的变化规律
小麦根长密度分层取样后,从各层次上,小麦根系平均根长密度在 0—5 cm 层长度较长,为 0.016 6 cm/

cm³,比总体采样均值还要多 0.003 7 cm/cm³。各生长期根长密度的差异,在根长密度总体平均值上,小麦的根长密度平均值随生长期不断增加,而在成熟期减小。0—5 cm 层的根长密度在拔节期达到最大值,为 0.020 5 cm/cm³,其后逐渐减弱;5—10 cm 和 10—20 cm 两层的根长密度均随生长期增加,到成熟期减弱(图 4)。小麦处在拔节期时,株体还弱小,为保持整体的垂直稳定性,避免倒伏,必须在近地层加固与土体的联结性。拔节期不仅仅是小麦冠层生长的顶峰时期,也是小麦根系生长的顶峰时期,因此,小麦的根系无论是在重量和长度上,都达到最大值。拔节期后,小麦在 0—5 cm 处的根系将会向下生长而使得更深层的层次根系长度增加。而成熟期部分根系已经开始进入枯萎状态,因此在重量和长度上都比前一期要小。

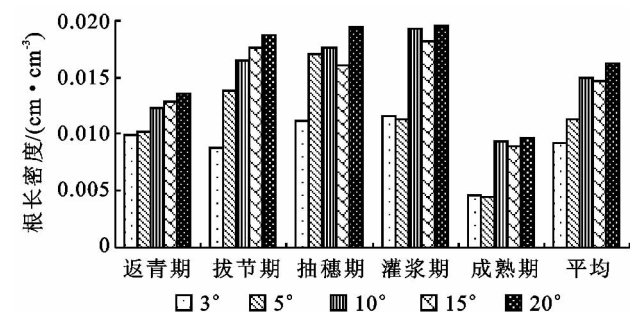


图 4 冬小麦全生长期株间取样根长密度随坡度的变化趋势

由于采集所取的挖土块法的限制,所采集到的根长均在 10 cm 左右,但是分层取样也体现小麦根系在土体中的伸展特征。3°坡耕地的 0—5 cm 层全生育期内的根系长度平均值为 7.71 cm。而采样高度仅为 5 cm,说明小麦根系在 0—5 cm 层处,并非完全的纵向生长,而是兼有横向和纵向的生长。在拔节期,各坡度的小麦根长密度均在 0—5 cm 层达到最大值(图 5)。

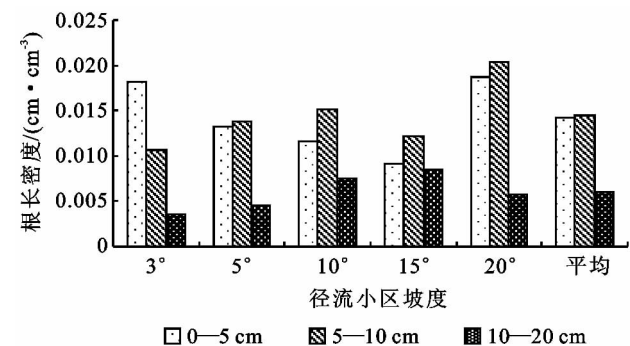


图 5 坡耕地行间冬小麦全生育期根系长度分层取样趋势

2.2.2 小麦根系长度随坡度变化规律 小麦根系长度随坡度的增加呈现出逐渐增加的趋势(表 2)。15°的根长密度平均值为最大值,为 0.014 2 cm/cm³,而各个坡度的总体根长密度平均值为 0.012 9 cm/cm³。

但是当坡度为 20°时,根长密度为 0.013 3 cm/cm³,实际观测到的 20°坡耕地植株体也比 15°的植株体要矮小,说明当坡度为 20°时,坡度已经抑制了小麦根系的部分生长。

表 2 坡耕地行间冬小麦根长随坡度的变化趋势

坡度	土层深度/ cm	小麦各生长期根长密度/(10 ⁻² cm·cm ⁻³)					
		返青期	拔节期	抽穗期	灌浆期	成熟期	平均
3°	0—5	1.82	2.05	1.70	1.53	1.21	1.66
	5—10	1.07	1.23	1.65	1.73	1.56	1.45
	10—20	0.36	0.51	0.80	1.15	0.91	0.74
5°	0—5	1.32	1.55	1.64	1.46	1.36	1.47
	5—10	1.38	1.38	1.70	1.53	1.31	1.46
	10—20	0.45	0.67	0.68	10.8	1.00	0.77
10°	0—5	1.16	1.56	1.64	1.72	1.21	1.46
	5—10	1.52	1.98	1.90	1.47	1.36	1.65
	10—20	0.75	0.87	0.68	0.65	0.61	0.71
15°	0—5	1.83	2.00	1.80	1.38	1.15	1.63
	5—10	1.22	1.72	2.11	1.34	1.46	1.57
	10—20	0.85	0.84	0.84	1.06	0.60	0.84
20°	0—5	1.87	2.00	1.74	1.12	1.07	1.56
	5—10	2.04	1.72	2.04	1.62	1.45	1.77
	10—20	0.58	0.84	0.81	0.56	0.51	0.66

对于不同生长期而言,小麦根系长度随坡度的增加而增加,只是在生长前期,根系长度在各个坡度上存在差异性,而到了成熟期后,小麦根系长度均趋向于相同,并且在各个土壤层上趋向相同。

2.3 冬小麦根系直径变化趋势

2.3.1 冬小麦根系直径随土层深度变化趋势 无坡度耕地上,小麦根径在各土层上随生长期变化差异不明显。分层来看,在 0—5 cm 层上根径大于其他层次,表述为 0—5 cm> 5—10 cm>10—20 cm。由各生长期总量上看,返青期、拔节期、抽穗期、灌浆期均在 0—5 cm 上根径密度大于其他层次,拔节期根径均大于其他层次,拔节期平均根系直径为 0.36 mm,总体平均值为 0.26 mm,较总体平均值多 0.10 mm。小麦根系在成熟期达到最小值,为 0.22 mm(图 6)。并随着生长期而逐渐减小,这与小麦根系生物量的变化相同。减小的原因是由于随着根系生长,根系的毛根量逐渐增加,而较长的根系不再向前或向下扩张,只在原有的位置上生长毛根,因此小麦根系在拔节期后又逐渐下降。成熟期小麦活动性能下降导致根系直径减少,并且各个层次上的根系直径基本上相同。

2.3.2 冬小麦根径随坡度变化趋势 小麦根系直径在各坡度上的平均直径变化趋势与根系的生物量变化趋势相似,在坡度为 10°时,根径达到最大值,为 0.33 mm,根系直径在坡度上变化的程度不大,根系直径的总体均值为 0.31 mm。小麦根系直径在各个坡度上均是拔节期达到最大值。在各个坡度上基本

上满足成熟期之前,小麦根系直径随坡度的增加而出现微弱增加,达到成熟期之后,根径便开始出现微弱减小,并在土壤各层次上,根径的值趋向于相同(表 3)。说明小麦根系受坡度的影响程度不大。

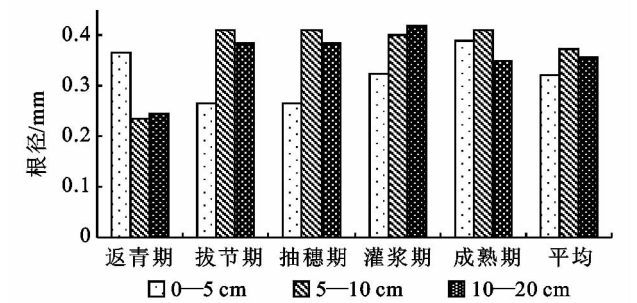


图 6 坡耕地冬小麦根系平均直径随生长期变化趋势

2.4 SPSS 对根系指标进行相关分析和曲线拟合

2.4.1 根重密度、根长密度、根径与土层的相关分析 小麦全生育期内测定的根系指标数据用 SPSS 数据处理工具对土层深度与根系各项指标间的相关关系进行检验,经检验后得出根重密度、根长密度及根径均与土层深度有显著性的线性相关关系,即表述为,根重密度、根长密度及根径均随土层深度的增加而减小(表 4)。

由以上线性相关关系,对根系各指标与土层关系进行线性回归分析,得出的关系见表 5。各指标与土层深度均呈负相关关系。其中根重密度、根径回归方程的 R² 值较大,说明两者受土层深度变化的影响较大,而根长密度则相对较弱(R² 为 0.690)。

表 3 坡耕地冬小麦 5 个生长期根系直径随坡度的变化趋势

度	土层深度/ cm	小麦各生长期根径/mm					
		返青期	拔节期	抽穗期	灌浆期	成熟期	平均
3°	0—5	0.37	0.50	0.39	0.37	0.27	0.40
	5—10	0.34	0.39	0.25	0.26	0.27	0.23
	10—20	0.25	0.37	0.23	0.28	0.26	0.28
5°	0—5	0.41	0.46	0.30	0.32	0.25	0.35
	5—10	0.39	0.36	0.19	0.31	0.27	0.30
	10—20	0.27	0.29	0.18	0.24	0.26	0.25
10°	0—5	0.41	0.53	0.38	0.34	0.24	0.38
	5—10	0.37	0.38	0.25	0.34	0.27	0.32
	10—20	0.33	0.26	0.24	0.30	0.26	0.28
15°	0—5	0.40	0.48	0.36	0.40	0.22	0.37
	5—10	0.33	0.39	0.27	0.30	0.24	0.31
	10—20	0.33	0.27	0.18	0.27	0.24	0.26
20°	0—5	0.41	0.42	0.37	0.32	0.25	0.35
	5—10	0.39	0.35	0.24	0.21	0.23	0.28
	10—20	0.35	0.33	0.16	0.25	0.25	0.27

表 4 根重密度、根长密度及根径与土层的相关系数

自变量	检验方法	相关性或相关系数	根重密度	根长密度	根径
土层深度	Pearson 检验	相关性	−0.976**	−0.831**	−0.841**
		显著性(双侧)	0.000	0.000	0.000
	Kendall 的 tau_b	相关系数	−0.845**	−0.566**	−0.724**
		Sig.(双侧)	0.000	0.008	0.001
	Spearman 的 rho	相关系数	−0.945**	−0.709**	−0.835**
		Sig.(双侧)	0.000	0.003	0.000

注: ** 在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的。

2.4.2 根重密度、根径密度及根径与坡度相关及回归分析 本试验中,首先检验平地上根系各个指标与生长期的相关关系。由表 6 看出,小麦根系的根重密度与生长期有显著相关的关系,为正相关关系,即小麦根系根重密度随小麦的生长而逐渐增加。而根长密度与根径则与生长期没有显著的线性相关关系。

表 5 小麦全生育期内各根系指标与土层深度的线性回归关系

指标	回归关系	相关关系 R^2	F 值
根重密度	$RD_w = -434d + 1.481$	0.954	266.817**
根长密度	$RD_L = -4.06d + 2.105$	0.690	28.967*
根 径	$D = -0.51d + 0.411$	0.707	31.415*

注: d 代表土层深度。

表 6 根重密度、根长密度及根径与生长期的相关关系

自变量	检验方法	相关性或相关系数	根重密度	根长密度	根径
生长期	Pearson	相关性	0.956*	0.522	−0.594
		显著性(双侧)	0.011	0.367	0.291
	Kendall 的 tau_b	相关系数	0.800	0.400	−0.600
		显著性(双侧)	0.050	0.327	0.142
	Spearman 的 rho	相关系数	0.900*	0.400	−0.800
		显著性(双侧)	0.037	0.505	0.104

注: * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

再由 5 个坡度测得的根系指标数据经 SPSS 工具进行根重密度、根长密度及根径的线性相关分析,结果如表 7 所示。由表中可得各指标与坡度均无显著性相关关系,即表述为,根重密度、根长密度及根径不随坡度的增加或减小出现单纯的线性变化。

对小麦全生育期各个坡度上的根系指标与坡度

和生长期进行多元回归分析(表 8)。重密度及根径与坡度呈负相关关系,而根长密度呈正相关关系,根长密度、根径与生长期呈负相关关系,根重密度与生长期呈正相关关系。小麦根系的各项指标并不是单纯受到坡度的影响,而是坡度与生长期等多重因素相结合,影响小麦根系各指标,并使之发生变化。

表 7 根重密度、根长密度及根径与坡度的相关系数

自变量	检验方法	相关性或相关系数	根重密度	根长密度	根径
坡度	Pearson	相关性	−0.341	0.187	−0.079
		显著性(双侧)	0.096	0.370	0.706
	Kendall 的 tau_b	相关系数	−0.241	0.124	−0.074
		Sig.(双侧)	0.115	0.416	0.632
	Spearman 的 rho	相关系数	−0.326	0.184	−0.102
		Sig.(双侧)	0.112	0.378	0.627

注：* 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性是显著的。

表 8 小麦全生育期内根重密度、根长密度及根径与坡度和生长期的多元回归关系

指标	回归关系	相关关系 R^2	F 值
根重密度	$RD_w=1.283G-0.119S_L+3.502$	0.781	43.870* *
根长密度	$RD_L=-0.297G+0.052S_L+13.297$	0.794	1.1430
根 径	$D=-0.028G-0.001S_L+0.403$	0.751	14.209*

注：* 为 $P<0.05$ 显著性水平，* * 为 $P<0.01$ 显著性水平。

3 结 论

小麦根系在土层中呈扩散分布状,上下分布比较均匀,有由上往下根系逐层变少的趋势。冬小麦根重密度、根长密度、根径与坡耕地土层深度和坡度变化都有一定的关系。小麦根重密度在 0—5 cm 层最大,随土层深度减小,根重密度随生长期逐渐增大,成熟期达到最大值。在 10°坡时,根重密度最大。根长密度在 0—5 cm 层最大,拔节期达到最大值,随后逐渐减小。根长密度随坡度增加而增加,当坡度为 15°时达到最大值。小麦平均根径随土层深度增加而逐渐减少,拔节期达到最大值,随生长期逐渐减小。当坡度为 10°时,根系平均直径达到最大值。坡耕地上小麦根重密度、根长密度、直径随土层深度的增加而增加,根重密度受坡度的影响变化明显,三个指标受坡度和生长期交互作用的影响。小麦受坡耕地特殊地形的影响,产生的土壤侵蚀规律也与一般农田发生土壤侵蚀有所不同,因此在研究坡耕地农作物根系特征及根系防蚀作用时,应遵循其根系分布特征进行分析。

参考文献：

[1] 毛妍婷,郑毅,李永梅,等. 狗尾草根系固土拉力的原位测定[J]. 土壤通报,2009,40(3):580-584.

[2] Morganr P C. Soil Erosion and Conservation, 3rd edition [M]. UK: Blackwell Science Ltd, Oxford, 2005.

[3] Gyssels G, Poesen J. The importance of plant root characteristics in controlling concentrated flow erosion rates [J]. Earth Surface Processes and Land-forms, 2003, 28 (4):371-384.

[4] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004.

[5] 李勇,朱显谟,田积莹. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 科学通报,1991(12):935-938.

[6] 傅金民. 大豆根系生长及其与产量的关系[J]. 大豆科学, 1987,6(4):262-270.

[7] 汪有科,吴钦孝,韩冰,等. 森林水土保持功能评价[J]. 水土保持研究,1994,1(3):24-30.

[8] 姚文艺,汤立群. 水力侵蚀产沙过程及模拟[M]. 郑州:黄河水利出版社,2001.

[9] 马波. 大豆对坡面土壤侵蚀的影响研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2008.

[10] 吴发启,赵晓光,刘秉正,等. 耕作活动对坡耕地径流及产沙的影响[J]. 西北林学院学报,1998,13(2):20-25.

[11] 雷廷武,刘汗,潘英华,等. 坡地土壤降雨入渗性能的径流—入流—产流测量方法与模型[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2005,35(12):1180-1186.

[12] 王进鑫,王迪海,刘广全. 刺槐和侧柏人工林有效根系密度分布规律研究[J]. 西北植物学报,2004,24(12): 2208-2214.