

· 研究报告 ·

# 秦岭北麓华北落叶松林地土壤有效性钾含量变化

陈钦程<sup>1</sup>, 徐福利<sup>2\*</sup>, 王渭玲<sup>1</sup>, 林云<sup>1</sup>

<sup>1</sup>西北农林科技大学, 杨凌 712100; <sup>2</sup>中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100

**摘要** 为探索华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)人工林土壤有效性钾的钾素形态分布与含量变化规律, 定期取样并测定了幼龄林(5a, 10a)、中龄林(20a)、近熟林(30a)及成熟林(40a)的土壤有效钾含量。结果表明, 速效钾含量在0–20 cm土层高于20–40 cm与40–60 cm土层; 在0–20 cm土层中, 年内不同生育期不同林龄间速效钾含量差异显著( $P < 0.05$ ); 在0–20 cm土层, 土壤缓效钾和有效钾含量与其它土层含量差异不显著, 年内不同生育期间土壤缓效钾和有效钾含量差异未达到显著性水平。随着林龄的增加, 土壤速效钾呈先增加后降低的趋势, 土壤有效钾与缓效钾呈下降趋势, 成熟林(40a)的土壤有效钾与缓效钾含量明显低于其它林龄。研究区域各林龄华北落叶松人工林土壤速效钾与缓效钾在含量分级标准中达到中等及高等含量水平, 有效钾含量丰富。

**关键词** 林龄, 华北落叶松, 土壤, 有效钾

陈钦程, 徐福利, 王渭玲, 林云 (2015). 秦岭北麓华北落叶松林地土壤有效性钾含量变化. 植物学报 50, 482–489.

钾是植物生长必需的三大营养元素之一, 参与植物体内几乎所有的生理生化过程(陆景陵等, 2003)。有效钾是可以被植物能够吸收利用的钾素形态, 因此分析测定土壤有效钾对植物的营养评价、营养平衡分析和制定调控措施都具有重要意义。林木生长除了受树种生物学特性、微气象因子、立地条件和人工抚育措施等诸多因素的影响, 林地土壤养分含量与分布也是影响林木生长的重要因素。目前, 国内对林木的研究主要集中在气象因子、碳储量、凋落物质量和蒸腾耗水规律等方面(梁建萍等, 2007; 李荣华等, 2008; 吴鹏飞等, 2008; 毛璐等, 2009; 马炜等, 2010; 葛晓改等, 2012)。早在20世纪80年代, 国外已开展对林木土壤钾的研究(Herwitz et al., 1986; Campo et al., 2000; Osono and Takeda, 2004; Fujiyoshi et al., 2009; Turner and Wright, 2014), 但尚未见对华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)土壤钾素含量与分布以及钾素有效性的系统研究。研究表明, 华北落叶松人工林初期长势良好, 随后生长量明显下降(雷瑞德等, 1997)。为了更好地管理和抚育华北落叶松人工林, 需要探讨林地土壤钾含量及分布变化。目前, 国内有关华北落叶松林地土壤钾有效性的研究较少。华北落叶松在7月和8月属于生育中期, 生长发育旺盛;

5月与6月属于生育前期; 9月和10月为生育后期。本研究通过探讨不同林龄(5a、10a、20a、30a和40a)华北落叶松人工林土壤有效性钾形态分布与含量变化规律, 揭示华北落叶松可以利用的有效钾含量与随树龄和生长季节的变化规律, 为华北落叶松人工林抚育、营养管理与调控提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验样地概况

本实验选择土壤性质相似的样地, 分别设置在陕西秦岭太白县南滩实验苗圃林场和秦岭宁陕县境内的西北农林科技大学火地塘教学试验林场。南滩实验苗圃林场有5a、10a和20a华北落叶松人工林, 地处太白县城东南4 km的秦岭西主峰鳌山脚下, 年均降水量600–1 000 mm, 年均无霜期158天, 年平均气温7.6°C, 最高气温32.8°C, 最低气温–25.5°C, 属秦岭谷地小气候带, 林木生长期166天。火地塘教学试验林场有30a和40a华北落叶松人工林, 属于北亚热带气候, 年均降水量1 000 mm, 多集中于7月和8月, 年平均温度12.7°C, 最高温度28.6°C, 最低温度–9.5°C, 年日照时数为1 327.5小时, 林木生长期180天。

收稿日期: 2014-09-01; 接受日期: 2015-03-20

基金项目: 十二五国家重点基础研究发展计划(No.2012CB416902)

\* 通讯作者。E-mail: xfl@nwsuaf.edu.cn

表1 供试样地林分基本特征

Table 1 General characteristic of the sampling plots

Age (a)	Forest types	Exposure	Slope position	Slope (°)	Elevation (m)	Stand density (1·hm <sup>-2</sup> )	Average tree height (m)	Average diameter at breast height (cm)
5	Young forest	Northeast	Mesoslope	20–25	1 680–1 700	1 500	4.8	4.46
10	Young forest	Northeast	Mesoslope	20–25	1 650–1 690	1 700	8.6	7.32
20	Middle-aged forest	Northwest	Baseslope	10–15	1 620–1 700	1 750	10.23	10.23
30	Nearly mature forest	Northeast	Mesoslope	25–30	1 700–1 850	1 750	19.1	18.44
40	Mature forest	East	Baseslope	20–25	2 100–2 360	1 800	25.2	19.20

表2 供试样地土壤类型和肥力特性

Table 2 Classification of the investigated soils

Age (a)	Soil organic matter (g·kg <sup>-1</sup> )	Moisture (%)	Soil pH	Soil NO <sub>3</sub> -N (mg·kg <sup>-1</sup> )	Soil nitrogen (g·kg <sup>-1</sup> )	Available phosphorus (mg·kg <sup>-1</sup> )	The style of soil	Soil-forming rock
5	18.68	15.63	6.52	29.41	1.18	3.17	Brown soil	Gneiss, mica, feldspar
10	20.36	13.94	6.61	21.35	1.21	10.26	Brown soil	Gneiss, mica, feldspar
20	25.89	15.37	6.71	49.86	1.44	2.49	Brown soil	Gneiss, mica, feldspar
30	39.55	17.54	6.46	87.79	2.17	4.36	Brown soil	Granite, metamorphic granite
40	57.14	18.76	6.17	123.93	3.35	7.65	Brown soil	Granite, metamorphic granite

## 1.2 土壤样品的采集

于2012年2月至3月进行样地考察。2012年4月在华北落叶松人工林地内每个林龄设置3块样地, 每块样地面积为20 m × 20 m, 每块样地采3个土壤样品, 本样地选择的是人工林, 树木基本呈现成排成行, 密度基本一致。分别于2012年5月、7月和9月采集样地林下土壤, 土壤样品采集时拨开土壤表层的枯枝落叶层, 用1 m的土钻按土壤剖面分别取0–20 cm、20–40 cm和40–60 cm土层的土壤, 拣去石砾与动植物残体, 装入塑封袋。每次取样在每个样地相同的地点进行, 保证土壤样品的均一性。

## 1.3 土壤速效钾和缓效钾含量的测定

将采回的土壤样品带回实验室, 自然风干。进一步拣去可见的动植物残体与碎屑, 磨碎后过1 mm筛。土壤速效钾用1 mol·L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>OAc浸提(土液比为1:10), 用火焰光度法(型号AP1200)测定。土壤缓效钾用1 mol·L<sup>-1</sup>热硝酸浸提, 用火焰光度法(型号AP1200)测定。土壤速效钾与缓效钾含量分级标准见表3和表4(鲍士旦等, 2000)。土壤有效钾含量是速效钾与缓效钾含量之和。土壤水分的测定采用烘干法。土壤pH值测定采用电位法。土壤有机质含量的测定采用外加加热法。

表3 土壤速效钾含量分级标准

Table 3 Soil content of available K grading standards

Soil content of available K (mg·kg <sup>-1</sup> )	<50	51–83	84–116	>116
Grade	Very low	Low	Medium	High

表4 土壤缓效钾含量分级标准

Table 4 Soil content of slow-K grading standards

Soil content of slow-K (mg·kg <sup>-1</sup> )	<300	300–600	>600
Grade	Low	Medium	High

## 1.4 数据处理

对各个处理获取的土壤速效钾与缓效钾含量数据进行分析整理, 计算不同林龄速效钾与缓效钾含量的平均值和标准误, 应用Microsoft Excel软件作图。用DPS软件对数据进行分析, 采用LSD法检验各处理之间的差异显著性及进行相关性分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同林龄华北落叶松在生育前期林地土壤有效钾形态分布及含量变化

由表5可知, 各林龄0–20 cm土层土壤缓效钾的含量

**表5** 不同林龄华北落叶松在生育前期土壤有效钾含量变化(平均值±标准误)**Table 5** Dynamics in soil content of effective potassium for different ages of *Larix principis-rupprechtii* before growth period (means±SE)

Soil depth (cm)	Forest age (a)	Soil content of slow-K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Soil content of available K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Soil content of effective K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Soil content of slow-K accounted for the proportion of effective K (%)	Soil content of available K accounted for the proportion of effective K (%)
0–20	5	1 817.00±10.00 A	103±1.00 B	1 920.00 A	95	5
	10	1 430.33±8.08 B	117.67±0.58 A	1 548.00 B	92	8
	20	898.00±79.37 D	59.67±2.31 D	957.67 D	94	6
	30	1 213.33±14.84 C	119.33±1.15 A	1 431.67 C	92	8
	40	805.67±15.54 E	77.33±1.15 C	883.00 E	94	6
20–40	5	1 546.33±30.01 B	70.33±0.58 D	1 616.00 B	96	4
	10	1 130.33±1.58 C	77.67±0.58 B	1 208.00 D	94	6
	20	1 444.00±57.17 B	79.67±0.58 A	1 523.67 C	95	5
	30	1 870.00±26.54 A	76.33±1.01 C	1 940.33 A	96	4
	40	1 533.67±48.62 B	75.00±2.15 C	1 608.67 B	88	12
40–60	5	1 121.67±12.5 A	75.00±1.73 B	1 196.00 A	94	6
	10	1 162.67±49.65 A	72.00±1.43 C	1 234.67 A	94	6
	20	1 152.67±37.99 A	64.00±1.53 C	1 216.67 A	95	5
	30	—	—	—	—	—
	40	494.00±54.48 C	114.67±0.95 A	598.67 B	81	19

30a林龄样地40–60 cm土层为岩石层, 没有土壤; 不同字母表示差异极显著( $P<0.01$ )。

40–60 cm soil plots of 30a forest is rock layer, there is no soil sample; Different letters indicate significant difference ( $P<0.01$ ).

均达到高等水平(>600 mg·kg<sup>-1</sup>), 且不同林龄间差异达极显著水平。随着林龄的升高土壤缓效钾含量有下降的趋势, 速效钾含量呈先增加后降低的趋势。与其它林龄土壤相比, 5a华北落叶松人工林土壤缓效钾含量最高, 达到1 817.00 mg·kg<sup>-1</sup>; 40a林龄林内土壤缓效钾含量最低, 为805.67 mg·kg<sup>-1</sup>。5a–40a不同林龄的速效钾含量差异显著, 占有有效钾的92%–95%。在20–40 cm土层, 30a林龄内土壤缓效钾含量最高, 达到1 870.00 mg·kg<sup>-1</sup>, 各林龄内土壤缓效钾含量达到高等水平。40–60 cm土层, 40a林龄内土壤缓效钾含量最低, 达到494.00 mg·kg<sup>-1</sup>, 为中等水平; 其它不同林龄华北落叶松人工林土壤缓效钾含量差异不显著, 占有有效钾的94%–95%。速效钾含量在0–20 cm土层高于20–40 cm和40–60 cm土层。

## 2.2 不同林龄华北落叶松在生育期林地土壤有效钾形态分布及含量变化

由表6可知, 在生育期(7月), 0–20 cm不同林龄内土壤速效钾含量比生育前期高, 大多处于高等水平; 缓效钾的含量比生育前期低。在0–20 cm土层, 5a与10a

华北落叶松人工林土壤缓效钾含量仍处于较高水平, 20a与30a次之, 40a华北落叶松人工林土壤缓效钾含量最低, 为573.33 mg·kg<sup>-1</sup>, 属于中等含量水平, 其它林龄均属于高含量水平。不同林龄林内土壤缓效钾含量占有有效钾含量的75%–90%。在20–40 cm土层, 10a与30a华北落叶松人工林土壤缓效钾含量较高, 5a与20a次之, 40a含量最低, 但与0–20 cm土层相比差异不大。其它土层内速效钾含量与0–20 cm土层相比整体有下降的趋势。在40–60 cm土层, 除40a缓效钾含量较低外, 其它不同林龄土壤的缓效钾含量差异不显著。

## 2.3 不同林龄华北落叶松在生育后期林地土壤有效钾形态分布及含量变化

由表7可知, 在生育后期(9月), 不同林龄间土壤速效钾及缓效钾含量差异均为极显著。0–20 cm土层不同林龄土壤缓效钾含量占有有效钾含量的53%–92%, 随着林龄的升高土壤缓效钾有下降的趋势。在20–40 cm土层, 不同林龄林内土壤速效钾含量差异均达到极显著水平, 速效钾呈先增加后降低的趋势。30a华

**表6** 不同林龄华北落叶松在生育期土壤有效钾含量变化(平均值±标准误)**Table 6** Dynamics in soil content of effective potassium for different ages of *Larix principis-rupprechtii* in growth period (means±SE)

Soil depth (cm)	Forest age (a)	Soil content of slow-K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Soil content of available K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Soil content of effective K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Soil content of slow-K accounted for the proportion of effective K (%)	Soil content of available K accounted for the proportion of effective K (%)
0-20	5	1 041.67±69.01 A	145.00±4.36 C	1 186.67 B	88	12
	10	1 319.67±6.35 AB	153.67±0.58 C	1 473.33 A	90	10
	20	1 199.00±11.36 B	104.33±1.53 D	1 303.33 AB	92	8
	30	1 045.33±95.11 B	264.67±12.70 A	1 310.00 AB	80	20
	40	573.33±10.69 C	193.33±11.59 B	766.67 C	75	25
20-40	5	893.67±85.45 C	96.33±1.53 B	990.0 C	90	10
	10	1 028.33±27.43 B	118.33±1.53 A	1 146.67 B	90	10
	20	887.67±16.17 C	85.67±4.62 C	973.33 C	91	9
	30	1 192.00±10.39 A	121.33±1.15 A	1 313.33 A	91	9
	40	511.3±9.50 D	98.67±0.58 B	610.00 D	84	16
40-60	5	1 011.33±18.77 A	112.00±4.36 A	1 123.33 A	90	10
	10	977.33±9.81 AB	119.33±4.04 A	1 096.67 A	89	11
	20	943.33±17.93 B	86.67±1.15 B	1 030.00 B	88	12
	30	-	-	-	-	-
	40	524.67±10.69 C	115.33±10.69 A	640.00 C	22	78

30a林龄样地40-60 cm土层为岩石层, 没有土壤; 不同字母表示差异极显著( $P<0.01$ )。

40-60 cm soil plots of 30a forest is rock layer, there is no soil sample; Different letters indicate significant difference ( $P<0.01$ ).

**表7** 不同林龄华北落叶松在生育后期土壤有效钾含量变化(平均值±标准误)**Table 7** Dynamics in soil content of effective potassium for different ages of *Larix principis-rupprechtii* after growth period (means±SE)

Soil depth (cm)	Forest age (a)	Soil content of slow-K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Soil content of available K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Soil content of effective K (mg·kg <sup>-1</sup> )	Soil content of slow-K accounted for the proportion of effective K (%)	Soil content of available K accounted for the proportion of effective K (%)
0-20	5	1 472.33±14.29 B	131.00±1.00 A	1 603.33 B	92	8
	10	1 781.33±28.11 A	175.33±8.39 C	1 956.67 A	91	9
	20	1 016.00±20.42 C	90.67±0.58 E	1 106.67 C	92	8
	30	1 016.33±55.72 C	153.67±6.66 D	1 170.00 C	87	13
	40	321.00±96.23 D	289.00±1.00 B	610.00 D	53	47
20-40	5	1 306.33±12.42 B	87.00±1.00 C	1 393.33 C	94	6
	10	1 356.33±21.03 B	103.33±1.53 A	1 460.00 B	93	7
	20	892.00±19.25 D	78.00±1.36 D	970.00 E	92	8
	30	1 538.00±66.71 A	92.33±1.00 B	1 630.33 A	94	6
	40	1 151.67±15.28 C	75.00±3.24 E	1 226.67 D	94	6
40-60	5	1 362.67±29.02 A	87.33±1.53 B	1 450.00 Aa	94	6
	10	1 278.67±5.13 A	101.33±7.51 A	1 380.00 Aa	93	7
	20	885.67±12.34 B	74.33±3.51 C	960.00 cB	92	8
	30	-	-	-	-	-
	40	983.67±70.95 B	73.00±5.67 C	1 056.67 bB	93	7

30a林龄样地40-60 cm土层为岩石层, 没有土壤; 不同字母表示差异极显著( $P<0.01$ )。

40-60 cm soil plots of 30a forest is rock layer, there is no soil sample; Different letters indicate significant difference ( $P<0.01$ ).

北落叶松人工林土壤缓效钾含量最高, 达到1 538.00 mg·kg<sup>-1</sup>, 10a与5a次之, 该土层不同林龄华北落叶松人工林土壤缓效钾含量占有效钾的92%–94%。在40–60 cm土层, 不同林龄华北落叶松人工林土壤缓效钾含量差异非极显著, 10a与5a含量较高, 20a与40a次之。

## 2.4 不同林龄华北落叶松林地有效钾与土壤水分、土壤pH值和土壤有机质含量的关系

土壤养分的变化与其它土壤理化性质有密切的关系。相关分析表明, 不同林龄华北落叶松人工林0–20 cm土层土壤有效钾与土壤pH值及土壤含水量相关性不显著, 与土壤有机质含量呈显著负相关; 0–20 cm土层土壤缓效钾与土壤pH值无显著相关性, 与土壤含水量及土壤有机质含量呈显著负相关; 0–20 cm土层土壤有效钾含量与土壤pH值呈显著负相关, 与土壤含水量呈显著正相关, 与土壤有机质含量呈极显著正相关。

## 2.5 讨论

### 2.5.1 不同林龄华北落叶松人工林土壤钾素形态和含量的影响因素

土壤速效钾含量变化受到土壤性质、温度、施肥、土壤酸碱度及土壤有机质含量的影响(Halev, 1977; 张伟等, 2006; Pracilio et al., 2006; Cui and Liu, 2010; 庞凤等, 2012)。本研究表明, 土壤速效钾含量与土壤含水量呈显著正相关(表8), 经淹水和湿润处理, 速效钾含量降低。徐国华等(1991)认为淹水导致黏土矿物晶层膨胀, 有利于更多的速效钾进行层间交换。梁成华等(2002)认为淹水后速效钾含量降低是由于水分造成的还原环境使黏土矿物晶体中的 Fe<sup>3+</sup>被还原, 致使晶层间负电荷增加, 进而增大了钾的固定。另外, 不同林龄华北落叶松土壤速效钾与土壤有机质的相关分析表明, 土壤速效钾与土壤有机质含量呈极显著正相关(表8)。这表明土壤有机质是影响土壤速效钾含量的重要因素之一。有机质能引起黏土矿物层间膨胀, 降低土壤对外源钾的固钾强度。该研究结果与以往类似研究相同。不同林龄华北落叶松土壤速效钾与土壤pH值的相关分析表明, 土壤速效钾与土壤pH值含量呈显著负相关, 是由于在酸性条件下, 黏土矿物层间

表8 土壤钾含量与土壤有机质含量、土壤pH值及土壤含水量的相关系数(0–20 cm土层)

Table 8 Correlation coefficients between soil content of K, soil organic carbon, soil pH and soil water (0–20 cm soil plots)

	Soil pH	Soil water	Soil organic carbon
Soil content of available K	-0.85*	0.85*	0.93**
Soil content of slow-K	0.76	-0.81*	-0.92*
Soil content of effective K	0.73	0.81	-0.89*

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$

形成的羟基铝离子基团阻止膨胀性黏土矿物硅氧层塌陷(程明芳等, 1999), 从而提高层间钾的强度。庞凤等(2012)研究表明土壤速效钾含量与土壤pH值呈极显著负相关, 与本研究结果相似。

本研究结果表明, 土壤缓效钾与土壤pH值无显著相关性, 与土壤含水量及土壤有机质含量呈显著负相关。已有研究(杜立宇等, 2008; 谭德水等, 2008a, 2008b; 王箐等, 2012; 王志勇等, 2012)表明, 土壤有机质含量的增加可以促进缓效钾转化为速效钾, 其原因是由于有机质在转化过程中产生了一些有机酸, 可促进含钾矿物质的风化。与本研究结果不同, 对水稻(*Oryza sativa*)的实验(封克等, 1992)表明, 常温淹水条件下, 土壤2:1型黏土矿物层间钾的迁移十分迅速, 进而增大了缓效钾素的有效性; 相反, 土壤水分减少则减弱了由于晶层膨胀导致的层间钾素的交换释放, 从而降低了土壤非交换钾的有效性。丛日环等(2007)在红壤和黄褐土恒湿实验中发现, 红壤恒湿处理后速效钾含量增加, 并随时间的延长有增加趋势, 黄褐土恒湿处理后速效钾含量有降低趋势, 而干湿交替处理均促进了两种土壤钾素的固定。由此可知, 尽管水分变化对不同土壤钾有效化影响不尽相同, 但水分条件对土壤不同形态钾素含量产生影响是可知的。

不同林龄华北落叶松人工林土壤有效钾含量变化是一个复杂的化学和物理学过程, 受到多种土壤理化性质的影响。王箐等(2012)研究表明, 土壤的黏土矿物组成、黏粒含量以及气候水热条件是影响土壤有效钾的重要自然因素, 不同土壤的供钾能力各不相同, 其原因归结于各种土壤的不同形态其钾素含量不同, 各形态钾素含量又取决于土壤黏土矿物类型和黏粒的组成。本研究中, 不同林龄华北落叶松人工林土壤类型一致, 黏土矿物和成土母岩相似。其相关分析

表明,不同林龄华北落叶松人工林土壤有效钾含量与土壤含水量和土壤pH值无显著相关性,与土壤有机质含量呈显著性负相关。其原因为缓效钾是有效钾的主要成分,有机质含量的增加会促进缓效钾转化为速效钾(杜立宇等,2008;谭德水等,2008a,2008b),进而被林木吸收利用。因此,有机质含量高时会促进林木对有效钾的吸收利用,使土壤中有有效钾含量降低。另有研究也证实了这种关系。王志勇等(2012)研究结果表明,施钾肥和秸秆还田可显著提高小麦和玉米的钾素吸收总量。

### 2.5.2 不同林龄华北落叶松土壤钾素形态和含量的变化规律

随着生育期的变化,速效钾与交换性钾的变化趋势一致,均表现为在生育中期较高,到生育后期有所下降,在生育前期较低。而缓效钾与非交换性钾的变化趋势和速效钾与交换性钾的变化趋势相反。统计分析显示,不同月份间华北落叶松人工林土壤缓效钾和有效钾含量差异未达到显著水平,说明土壤中钾本身的变化在不同月份间不敏感。

本研究结果表明,不同林龄华北落叶松人工林土壤有效钾含量丰富,随着林龄的增加,有效钾含量有下降的趋势;不同林龄华北落叶松人工林土壤速效钾含量达到中等及高等水平,随着林龄的增加呈先降低后升高的趋势。40a华北落叶松人工林土壤缓效钾含量达到中等水平,其它不同林龄华北落叶松人工林土壤缓效钾的含量大多处于高等水平。随着林龄的增加,华北落叶松人工林土壤缓效钾含量的变化趋势与有效钾变化趋势一致,呈下降趋势,主要是由于缓效钾占有有效钾的比例较高,因此对其影响也较大。随着林龄的增加,土壤受到淋溶和风化的程度日益增加,因此土壤有效钾含量随林龄增加有下降的趋势。不同生长季节不同林龄华北落叶松人工林土壤的最低缓效钾含量仍处于中等含量水平。程明芳等(1999)研究表明,我国北方的土壤中缓效钾含量一般较高,它是作物吸收钾素的主要来源,尤其是在不施钾肥的情况下。缓效钾必须转化成速效钾后才能被作物吸收利用,因此,缓效钾的释放速率对于土壤的供钾能力有十分重要的影响。而西北地区的土壤平均钾释放速率较高,0.175–1.121 mg·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)。总的来说,不同季节不同林龄华北落叶松人工林土壤有效钾含量充足,供钾

潜力较大。

### 参考文献

- 鲍士旦 (2000). 土壤农化分析(第3版). 北京: 中国农业出版社. pp.107–110.
- 程明芳, 金继运, 黄绍文 (1999). 我国北方主要土壤非交换性钾释放速率的研究. 土壤学报 36, 218–224.
- 丛日环, 李小坤, 鲁剑巍 (2007). 土壤钾素转化的影响因素及其研究进展. 华中农业大学学报 26, 907–913.
- 杜立宇, 李延东, 梁成华 (2008). 不同施肥处理对保护地土壤非交换性钾释放能力的影响. 河南农业科学 (6), 54–57.
- 封克, 殷士学, 张山泉 (1992). 矿物钾在作物营养中的意义. 土壤通报 23(2), 58–60.
- 葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 黄志霖, 付甜, 封晓辉 (2012). 不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系. 生态学报 32, 852–862.
- 雷瑞德, 党坤良, 张硕新, 谭芳林 (1997). 秦岭南坡中山地带华北落叶松人工林对土壤的影响. 林业科学 33, 463–470.
- 李荣华, 汪思龙, 王清奎 (2008). 不同林龄马尾松针叶凋落前后养分含量及回收特征. 应用生态学报 19, 1443–1447.
- 梁建萍, 牛远, 谢敬斯, 张建达 (2007). 不同海拔华北落叶松针叶三种抗氧化酶活性与光合色素含量. 应用生态学报 18, 1414–1419.
- 梁成华, 魏丽萍, 罗磊 (2002). 土壤固钾与释钾机制研究进展. 地球科学进展 17, 679–684.
- 陆景陵 (2003). 植物营养学(上册). 北京: 中国农业大学出版社. pp. 48–59.
- 马炜, 孙玉军, 郭孝玉, 巨文珍, 穆景森 (2010). 不同林龄长白落叶松人工林碳储量. 生态学报 30, 4659–4667.
- 毛璐, 崔强, 赵琼, 艾桂艳, 李禄军, 曾德慧 (2009). 不同林龄杨树农田防护林土壤微生物生物量碳、氮和微生物活性. 应用生态学报 20, 2079–2084.
- 庞凤, 陶晓秋, 张英, 王勇, 李廷轩 (2012). 会理县新植烟区土壤速效钾含量空间变异特征及其影响因子. 中国烟草科学 33, 32–36.
- 隋玉龙, 陈丽艳, 马莉, 仝小宛 (2009). 不同林龄日本落叶松与华北落叶松生长的比较. 河北林果研究 24, 362–365.
- 谭德水, 金继运, 黄绍文 (2008a). 长期施钾与秸秆还田对西北地区不同种植制度下作物产量及土壤钾素的影响. 植物营养与肥料学报 14, 886–893.
- 谭德水, 金继运, 黄绍文, 高伟 (2008b). 长期施钾与秸秆还田对华北潮土和褐土区作物产量及土壤钾素的影响. 植物

- 营养与肥料学报 **14**, 106–112.
- 王箬, 鲁剑巍, 张文君, 李小坤 (2012). 田间土壤钾素有效性影响因素及其评估. 土壤 **44**, 898–904.
- 王志勇, 白由路, 杨俐苹, 卢艳丽, 王磊, 王贺 (2012). 低土壤肥力下施钾和秸秆还田对作物产量及土壤钾素平衡的影响. 植物营养与肥料学报 **18**, 900–906.
- 吴鹏飞, 朱波, 刘世荣, 王小国 (2008). 不同林龄桉-柏混交林生态系统的碳储量及其分配. 应用生态学报 **19**, 1419–1424.
- 徐国华, 鲍士旦, 史瑞和 (1991). 土壤钾素供应状况的研究 IV. 禾谷类及豆类作物对土壤层间钾的利用. 南京农业大学学报 **14**(2), 47–52.
- 翟洪波, 呼和牧仁, 周梅, 李良, 邵仁旭, 姚凯 (2010). 不同年龄华北落叶松光合、蒸腾生理生态特征的研究. 内蒙古农业大学学报 **31**(2), 66–71.
- 张金屯, 孟东平 (2004). 芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析. 生态学报 **24**, 35–40.
- 张伟, 陈洪松, 王克林, 苏以荣, 张继光, 易爱军 (2006). 喀斯特峰丛洼地土壤养分空间分异特征及影响因子分析. 中国农业科学 **39**, 1828–1835.
- Campo J, Maass JM, Jaramillo VJ, Yrizar AM (2000). Calcium, potassium, and magnesium cycling in a Mexican tropical dry forest ecosystem. *Biogeochemistry* **49**, 21–36.
- Cui WW, Liu JP (2010). Study on the differences of village-level spatial variability of agricultural soil available K in the typical black soil regions of Northeast China. In: Li DL, Liu YD, Chen YY, eds. *Computer and Computing Technologies in Agriculture IV*. Berlin Heidelberg: Springer. pp. 674–681.
- Fujiyoshi R, Satake Y, Sumiyoshi T (2009). Depth profiles of potassium and its isotope ratio ( $^{40}\text{K}/\text{K}$ ) in several forest soils. *J Radioanal Nucl Chem* **281**, 553–561.
- Halevy J (1977). Estimation of available potassium for cotton by soil analysis. *Plant Soil* **47**, 363–373.
- Herwitz SR (1986). Episodic stemflow inputs of magnesium and potassium to a tropical forest floor during heavy rainfall events. *Oecologia (Berlin)* **70**, 423–425.
- Osono T, Takeda H (2004). Potassium, calcium, and magnesium dynamics during litter decomposition in a cool temperate forest. *J Forest Res* **9**, 23–31.
- Pracilio G, Adams ML, Smettem KRJ, Harper RJ (2006). Determination of spatial distribution patterns of clay and plant available potassium contents in surface soils at the farm scale using high resolution gamma ray spectrometry. *Plant Soil* **282**, 67–82.
- Turner BL, Wright SJ (2014). The response of microbial biomass and hydrolytic enzymes to a decade of nitrogen, phosphorus, and potassium addition in a lowland tropical rain forest. *Biogeochemistry* **117**, 115–130.

## Seasonal Dynamics in Soil Content of Effective Potassium for Different Ages of *Larix principis-rupprechtii* in the Northern Foot of the Qinling Mountains

Qincheng Chen<sup>1</sup>, Fuli Xu<sup>2\*</sup>, Weiling Wang<sup>1</sup>, Yun Lin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Northwest A&F University, Yangling 712100, China; <sup>2</sup>Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China

**Abstract** The soil content of available K for 5a, 10a, 20a, 30a, 40a *Larix principis-rupprechtii* in the northern foot of the Qinling Mountains was analyzed from May to October to determine the seasonal dynamics in content of available K for *L. principis-rupprechtii* at different ages. The available K content at 0 to 20 cm in different months for different ages of *L. principis-rupprechtii* was higher than at the soil depth of 20 to 40 cm' and 40 to 60 cm'. The soil content of available K at soil depth 0 to 20 cm in different months for different tree ages significantly differed ( $P<0.05$ ). The soil content of effective K and slow-K at 0 to 20 cm in different months for different tree ages was higher than at the soil depth of 20 to 40 cm' and 40 to 60 cm'. The soil content of effective K and slow-K at soil depth 0 to 20 cm in different months for different tree ages did not differ ( $P<0.05$ ). At soil depth 0 to 20 cm, the soil content of available K at different tree ages had a parabolic variation, increasing first and then decreasing, whereas that of effective K and slow-K at different tree ages had a decreasing variation; the soil content of effective K and slow-K of 40a *L. principis-rupprechtii* was higher than at other ages. The soil content of available K and slow-K for different ages of *L. principis-rupprechtii* without fertilization reached the middle and high levels, so the soil content of effective K was adequate.

**Key words** age, *Larix principis-rupprechtii*, soil, effective potassium

**Chen QC, Xu FL, Wang WL, Lin Y (2015).** Seasonal dynamics in soil content of effective potassium for different ages of *Larix principis-rupprechtii* in the northern foot of the Qinling Mountains. *Chin Bull Bot* **50**, 482–489.

---

\* Author for correspondence. E-mail: xfl@nwsuaf.edu.cn

(责任编辑: 白羽红)